

OPTIMIZAÇÃO DE SISTEMAS SOLARES TÉRMICOS

MARCO ANTÓNIO CUNHA MIRANDA

Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de
MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL — ESPECIALIZAÇÃO EM CONSTRUÇÕES CIVIS

Orientador: Professor Doutor Vasco Manuel Araújo Peixoto de Freitas

JULHO DE 2008

MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA CIVIL 2007/2008

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Tel. +351-22-508 1901

Fax +351-22-508 1446

✉ miec@fe.up.pt

Editado por

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

Rua Dr. Roberto Frias

4200-465 PORTO

Portugal

Tel. +351-22-508 1400

Fax +351-22-508 1440

✉ feup@fe.up.pt

🌐 <http://www.fe.up.pt>

Reproduções parciais deste documento serão autorizadas na condição que seja mencionado o Autor e feita referência a *Mestrado Integrado em Engenharia Civil - 2007/2008 - Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2008*.

As opiniões e informações incluídas neste documento representam unicamente o ponto de vista do respectivo Autor, não podendo o Editor aceitar qualquer responsabilidade legal ou outra em relação a erros ou omissões que possam existir.

Este documento foi produzido a partir de versão electrónica fornecida pelo respectivo Autor.

A meus Pais
e à minha Esposa

*Só sabemos com exactidão quando sabemos pouco; à medida que vamos adquirindo
conhecimento, instala-se a dúvida.*

Johann Goethe

RESUMO

O aumento substancial do preço dos combustíveis fósseis e a dependência exterior de Portugal, neste sector, têm motivado o aumento da factura energética nos últimos anos.

A alteração da consciência política e a crescente sensibilização da sociedade civil para o problema energético, nos seus variados aspectos, potenciou um ponto de viragem e de não retorno para o uso de energias renováveis e o aumento das preocupações com a eficiência energética das edificações, responsáveis por uma parte considerável do consumo de energia primária, na forma de energia eléctrica.

Os compromissos assumidos por Portugal dentro da União Europeia e dentro da comunidade internacional têm viabilizado diversos planos e iniciativas, os quais sem estes estímulos dificilmente atingiriam níveis visíveis.

A energia solar é uma fonte de energia endógena e gratuita distribuída equitativamente pela Terra.

Tendo em atenção que uma parte considerável do consumo energético é verificado no aquecimento de águas quentes sanitárias, e que a legislação nacional impõe o uso de colectores solares térmicos, torna-se pertinente uma análise mais aprofundada sobre os sistemas solares térmicos, do ponto de vista técnico, económico e ambiental.

Com o propósito na optimização destes sistemas, este documento apresenta uma visão fundamentada sobre os aspectos passíveis de racionalização na instalação, facultando uma mais abrangente divulgação e penetração dos sistemas solares na prática corrente da construção civil nacional - sector doméstico.

PALAVRAS-CHAVE: Energia solar, água quente sanitária, colector solar, depósito de acumulação, fracção solar.

ABSTRACT

The substantial rise in the price of fossil fuel and Portugal's external dependence on it has increased energy bills over recent years.

The changes in political thought and the growth of civil sensibility this issue has marked a turning point in the use of renewable energy and a positive change in the energy efficiency of buildings, responsible for the largest share of overall consumption, primarily in the form of domestic electricity.

The commitments that Portugal has taken within the European Union and the international community have made possible various projects and initiatives, difficult to achieve without them.

Solar energy is a freely endowed and endogenous source of energy.

The major part of the energy consumed occurs in water heating and the recently introduced national regulations have made relevant a more serious consideration of solar power systems in terms of technical and environmental issues.

With regard to improving the systems mentioned, the present paper presents a view based on the practical implications of installing solar systems on current Portuguese construction practices - specifically in the domestic sector.

KEY-WORDS: solar energy, water heating, solar collector, hot water storage, solar fraction.

ÍNDICE GERAL

RESUMO	i
ABSTRACT	iii
 1. INTRODUÇÃO	 1
1.1. POLÍTICA E OBJECTIVOS NA ÁREA DA ENERGIA SOLAR	1
1.2. ENQUADRAMENTO LEGISLATIVO	3
1.3. OBJECTIVOS DO TRABALHO	4
1.4. ESTRUTURAÇÃO DO TEXTO	4
 2. CARACTERIZAÇÃO DOS SISTEMAS	 5
2.1. POLÍTICA E OBJECTIVOS NA ÁREA DA ENERGIA SOLAR	5
2.1.1. ENERGIA SOLAR DISPONÍVEL PARA APROVEITAMENTO ENERGÉTICO	5
2.1.2. POTENCIAL DA RADIAÇÃO SOLAR	7
2.1.3. DADOS CLIMATOLÓGICOS.....	7
2.2. SISTEMAS SOLARES TÉRMICOS	13
2.2.1. CONVERSÃO DE ENERGIA SOLAR EM ENERGIA TÉRMICA.....	13
2.2.2. ÁREAS DE UTILIZAÇÃO DA ENERGIA SOLAR	14
2.2.3. CLASSIFICAÇÃO DAS INSTALAÇÕES SOLARES TÉRMICAS.....	15
2.2.4. CARACTERIZAÇÃO DE UM SISTEMA SOLAR	15
2.2.5. TEMPERATURA DE FUNCIONAMENTO E UTILIZAÇÃO DOS COLECTORES	23
2.2.6. PRINCÍPIO DE LIGAÇÃO ENTRE SISTEMAS DE COLECTORES	25
2.2.7. SISTEMAS DE APOIO	26
2.2.8. INTEGRAÇÃO DOS SISTEMAS EM EDIFICAÇÕES	27
2.3. CERTIFICAÇÃO DE COLECTORES E MERCADO	31
2.3.1. NORMALIZAÇÃO E CERTIFICAÇÃO	31
2.3.2. O MERCADO INTERNACIONAL	34
2.3.3. DESENVOLVIMENTO DO MERCADO NACIONAL.....	39
 3. QUANTIFICAÇÃO DE DESEMPENHO	 43
3.1. CONSIDERAÇÕES PRÉVIAS	43
3.2. MODELO DE CÁLCULO DO RCCTE - SOLTERM	44

3.3. IMPORTÂNCIA DA FRACÇÃO SOLAR	46
3.4. SOMBREAMENTOS	49
3.5. ESTUDO DE OPTIMIZAÇÃO.....	51
3.5.1. SOLUÇÕES A E B	51
3.5.2. ORIENTAÇÃO E INCLINAÇÃO DE COLECTORES.....	52
3.5.3. CONSUMO E VOLUME DO DEPÓSITO DE ACUMULAÇÃO	59
3.5.4. ÁREA DE CAPTAÇÃO.....	63
3.5.5. RENDIMENTO DO COLECTOR SOLAR	68
 4. ANÁLISE TÉCNICO-ECONÓMICA	 73
4.1. PERÍODO DE RETORNO.....	73
4.2. REDUÇÃO DE EMISSÕES POLUENTES	77
 5. IMPLICAÇÕES CONSTRUTIVAS	 79
 6. CONCLUSÕES.....	 85

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Espectro da radiação solar	5
Figura 2 - Componentes da radiação.....	6
Figura 3 - Radiação solar horizontal anual na Europa (kWh/m ²) - PVGIS	8
Figura 4 - Radiação solar horizontal anual em Portugal e Espanha (kWh/m ²) - PVGIS	8
Figura 5 - Mapa da radiação global anual em Portugal - Atlas do Ambiente	9
Figura 6 - Radiação solar horizontal no Porto.....	10
Figura 7 - Radiação solar horizontal em Lisboa.....	10
Figura 8 - Radiação solar horizontal em Faro.....	11
Figura 9 - Mapa da insolação global anual em Portugal - Atlas do Ambiente	11
Figura 10 - Horas de insolação no Porto	12
Figura 11 - Horas de insolação em Lisboa	12
Figura 12 - Horas de insolação em Faro.....	13
Figura 13 - Sistema forçado de circulação. Água quente doméstica e aquecimento ambiente	17
Figura 14 - Sistema natural de circulação. Água quente doméstica.....	18
Figura 15 - Colector plano sem cobertura.....	19
Figura 16 - Colector plano com cobertura.....	20
Figura 17 - Colector concentrador com cobertura	21
Figura 18 - Colector de tubos de vácuo	22
Figura 19 - Temperatura de funcionamento dos colectores acima da temperatura ambiente	24
Figura 20 - Ligação paralelo / Série / Paralelo de canais	25
Figura 21 - Ligação paralelo - série.....	26
Figura 22 - Sistema solar colectivo totalmente centralizado.....	28
Figura 23 - Sistema solar colectivo centralizado com apoios individuais	29
Figura 24 - Sistema solar colectivo com apoio e depósito de acumulação individualizados	30
Figura 25 - Sistema solar individual	30
Figura 26 - Símbolo de produto certificado nacional.....	33
Figura 27 - Símbolo de produto certificado europeu.....	34
Figura 28 – Desenvolvimento anual do mercado interno solar térmico na UE 27 + Suíça	35
Figura 29 - Percentagem do mercado da UE 27 + Suíça em 2006.....	37
Figura 30 - Distribuição a nível mundial da capacidade instalada em 2006 por tipo de colector	38
Figura 31 - Áreas de implantação anuais em território nacional.....	39

Figura 32 - Repartição de energia no subsector residencial do Porto	41
Figura 33 - Repartição de emissões de CO ₂ associadas ao uso no subsector residencial do Porto ...	41
Figura 34 - Apresentação do menu clima e local do programa Solterm	45
Figura 35 - Fracção solar para o Porto.....	47
Figura 36 - Fracção solar para Lisboa.....	47
Figura 37 - Fracção solar para Faro	48
Figura 38 - Fracção solar e eficiência do sistema	48
Figura 39 - Projecção estereográfica cilíndrica para uma latitude de 40° N	49
Figura 40 - Equinócios e solstícios	50
Figura 41 - Distância de não sombreamento	50
Figura 42 - Relação entre a altura e o azimute solar	52
Figura 43 - Inclinação dos colectores segundo a altura do ano para uma latitude de 41° - Porto	53
Figura 44 - Energia solar em função da inclinação (solução A).....	55
Figura 45 - Défice energético em comparação com a energia solar útil disponível (solução A)	55
Figura 46 - Percentagem do défice energético em comparação com a energia solar útil (solução A).	56
Figura 47 - Variação da energia necessária e solar disponível ao longo do ano (solução A)	56
Figura 48 - Energia solar em função da inclinação (solução B).....	57
Figura 49 - Défice energético em comparação com a energia solar útil disponível (solução B)	58
Figura 50 - Percentagem do défice energético em comparação com a energia solar útil (solução B).	58
Figura 51 - Variação da energia necessária e solar disponível ao longo do ano (solução B)	59
Figura 52 - Comparação entre depósitos com e sem estratificação	60
Figura 53 - Comparação entre depósitos com e sem bengala	60
Figura 54 - Volume de acumulação função da percentagem de energia solar incidente	63
Figura 55 - Área de captação de um colector solar	64
Figura 56 - Energia fornecida e energia de apoio para diferentes áreas de captação (solução A).....	66
Figura 57 - Energia fornecida e energia de apoio para diferentes áreas de captação (solução B).....	67
Figura 58 - Curva de rendimento de um colector solar	70
Figura 59 - Instalação de colector solar térmico em cobertura inclinada.....	82

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 1 - Vantagens e desvantagens dos sistemas de circulação	18
Quadro 2 - Vantagens e desvantagens dos colectores solares	22
Quadro 3 - Tipo de instalação em função da temperatura de utilização	25
Quadro 4 - Vantagens e desvantagens função do tipo de ligação entre colectores	26
Quadro 5 - Vantagens e desvantagens função do tipo de integração dos sistemas em edificações ...	31
Quadro 6 - Normas europeias aplicáveis a sistemas solares	32
Quadro 7 - Dimensão do mercado da UE + Suíça em termos de área de colector	36
Quadro 8 - Área de colector e de energia solar por habitante em finais de 2006	38
Quadro 9 - Distribuição dos sistemas pelos países com maior área instalada.	39
Quadro 10 - Resumo das soluções objecto de análise	51
Quadro 11 - Inclinação de acordo com o período de utilização.....	53
Quadro 12 - Energia incidente diária média em função da inclinação do colector e o azimute do colector	54
Quadro 13 - Energia solar incidente em função da inclinação do colector (solução A)	54
Quadro 14 - Energia solar incidente em função da inclinação do colector (solução B)	57
Quadro 15 - Efeito da variação anual do consumo de água quente (solução A)	62
Quadro 16 - Efeito da variação anual do consumo de água quente (solução B)	62
Quadro 17 - Quantidade efectiva de colectores função do mês de Julho (solução A).....	65
Quadro 18 - Área de captação fixa e área de captação variável (solução A)	65
Quadro 19 - Quantidade efectiva de colectores função do mês de Julho (solução B).....	66
Quadro 20 - Área de captação fixa e área de captação variável (solução B)	67
Quadro 21 - Rendimento e perdas de colectores solares	69
Quadro 22 - Variação da fracção solar e área de captação função do rendimento do colector	71
Quadro 23 - Consumos energéticos da solução A e B.....	73
Quadro 24 - Benefício económico de um colector solar térmico (solução A)	74
Quadro 25 - Período de retorno simples de um colector solar (solução A)	75
Quadro 26 - Benefício económico de um colector solar térmico (solução B)	76
Quadro 27 - Período de retorno simples de um colector solar (solução B)	76
Quadro 28 - Impactos evitados de emissões de CO ₂ equivalente	77
Quadro 29 - Impactos evitados de emissões de CO ₂ equivalente por habitante	78
Quadro 30 - Distância percorrida correspondente aos impactos evitados de emissões de CO ₂ equivalente por habitante	78

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1 - Energia incidente em função da inclinação do colector - solução A	91
Anexo 2 - Energia incidente em função da inclinação do colector - solução B	95
Anexo 3 - Efeito da variação do consumo de água quente na energia solar fornecida, do apoio necessário e da fracção solar - solução A	99
Anexo 4 - Efeito da variação do consumo de água quente na energia solar fornecida, do apoio necessário e da fracção solar - solução B	105
Anexo 5 - Comparação da variação da energia fornecida, fracção solar e eficiência em função da variação da área de captação - solução A.....	111
Anexo 6 - Comparação da variação da energia fornecida, fracção solar e eficiência em função da variação da área de captação - solução B.....	115
Anexo 7 - Comparação da área de captação e do rendimento função da variação do rendimento óptico e das perdas do colector solar térmico.....	119
Anexo 8 - Período de retorno do investimento de sistema solar térmico em comparação com os sistemas convencionais servidos por combustíveis fósseis - solução A	123
Anexo 9 - Período de retorno do investimento de sistema solar térmico em comparação com os sistemas convencionais servidos por combustíveis fósseis - solução B	127

ABREVIATURAS

ADENE - Agência de Desenvolvimento.

AQS - Água Quente Sanitária.

AQSpP - Água Quente Solar para Portugal.

CEN - Comité Europeu da Normalização.

CENELEC - Comité Europeu de Normalização Electrotécnica.

CPC - Concentrador Parabólico Composto.

CERTIF - Associação para a Certificação de Produtos.

DGEG - Direcção Geral de Energia e Geologia.

ER - Energias Renováveis.

ESTIF - European Solar Thermal Industry Federation.

FER - Fonte de Energia Renovável.

GEE - Gases de Efeito de Estufa.

IEA - International Energy Agency.

IEC - International Electrotechnical Commission.

I & D - Investigação e Desenvolvimento.

INETI - Instituto Nacional de Energia e Tecnologia de Inovação.

IPAC - Instituto Português de Acreditação.

IPCC - Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (Intergovernmental Panel on Climate Change).

IPQ - Instituto Português da Qualidade.

ISO - Organização Internacional para Padronização (International Organization for Standardization).

LECS - Laboratório para Ensaio de Colectores Solares.

NEGST - Nova Geração de Sistemas Solares Térmicos (New Generation of Solar Thermal Systems).

PNAC - Programa Nacional para as Alterações Climáticas.

PNAEE - Plano Nacional de Acção para a Eficiência Energética.

PRIME - Programa de Incentivos à Modernização da Economia.

RCCTE - Regulamento das Características do Comportamento Térmico dos Edifícios.

PQ - Protocolo de Quioto.

SPQ - Sistema Português da Qualidade.

UE - União Europeia.

UV - Raios Ultra-violetas.

WMO - World Meteorological Organization.

1

INTRODUÇÃO

1.1. POLÍTICA E OBJECTIVOS NA ÁREA DA ENERGIA SOLAR

Em Portugal, o sector dos edifícios é responsável por uma parte significativa da energia total consumida (residencial com 12 % e os serviços com 9 %), o que demonstra a importância de uma adequada política de construção, com o intuito de diminuição do consumo energético [2].

Após a adesão de Portugal à União Europeia (UE), em 1986, e em ligação com o Quadro Comunitário de Apoio, o Governo português criou o correspondente programa nacional para apoio da economia, onde os assuntos relacionados com a energia foram sempre considerados em subprogramas particulares. Investigação e desenvolvimento (I&D) e promoção de energias renováveis (ER) foram sempre incluídos nesses subprogramas, mas durante a última década, o objectivo principal foi a conservação da energia na indústria e a introdução do gás natural a partir da criação da rede nacional, a qual ainda se encontra em expansão.

Com o III Quadro Comunitário de Apoio (Portugal 2000-2006), o programa nacional - POE, Programa Operacional de Economia (2000-2006) - incluído no subprograma denominado MAPE-Medida de Apoio ao Aproveitamento do Potencial Energético e Racionalização de Consumo, relacionado com o sector da energia, vieram dar suporte às necessidades de concretização das metas estabelecidas nos documentos internacionais assinados por Portugal, como o Livro Branco¹ da UE e o Protocolo de Quioto (PQ). O MAPE foi estabelecido no âmbito do POE e criado pela Portaria n.º 198/2001 de 13 de Março [21] [26].

Por causa dos acordos internacionais atrás mencionados, Portugal comprometeu-se a que 39 % da electricidade produzida tivesse origem em energias renováveis até ao ano de 2010 e que as emissões de gases com efeito de estufa (GEE), no primeiro período de cumprimento do Protocolo de Quioto (2008-2012), não fossem superiores a 27 %, em comparação com o valor verificado em 1990. O Protocolo de Quioto viria a entrar em vigor a 16 de Fevereiro de 2005, na sequência da deposição dos instrumentos de ratificação por 55 países.

No seu formato original, o programa POE/MAPE foi maioritariamente dedicado a fomentar a produção de energia eléctrica através de energias renováveis, mas em 2001 foi alterado e dele

¹ Os Livros Brancos são documentos que apresentam propostas de acção comunitária num domínio específico, apresentando um pacote oficial de propostas em áreas de actividade específicas contribuindo para o seu desenvolvimento. Muitas vezes surgem na sequência de um Livro Verde, publicado para lançar um processo de consulta a nível europeu, expondo uma série de ideias para análise e debate público. Os Livros Verdes são documentos de reflexão publicados pela Comissão sobre um domínio de actividade específico, destinados às partes interessadas, chamadas a um processo de consulta e debate. O objectivo é dar origem a textos legislativos posteriores. (http://europa.eu/documents/comm/index_pt.htm).

resultaram documentos que serviram de base para o primeiro Plano de Políticas Energéticas, onde as energias renováveis em geral e a solar em particular foram, em ligação com outros vectores de energia mais convencionais, como o gás natural, considerados igualmente importantes para Portugal.

No documento aprovado pelo Governo português, Resolução do Conselho de Ministros n.º 154/2001, de 27 de Setembro [6] [26], denominado Programa E4 - Eficiência Energética e Energias Endógenas, expressa-se que os principais objectivos da política energética de Portugal são a segurança das reservas energéticas, a redução da factura energética com o exterior e o assegurar a competitividade da economia portuguesa no mercado global, enquanto mantém limitado o impacto ambiental da produção de energia, de acordo com os compromissos internacionais assinados por Portugal.

Para alcançar estes objectivos, vários programas e medidas foram propostos. E, entre outros, no lado do fornecimento destacam-se: Segurança na Reserva de Energia; Liberalização e Regulamentação do Mercado; Promoção e Descentralização da Produção de Energia e Alternativas aos Óleos Usados, bem como, no lado da procura, a criação de subprogramas de Água Quente Solar para Portugal (AQSpP) e Eficiência Energética na Construção (E3). Todos incluem medidas inovadoras, procurando todos os tipos de usos domésticos, industrial, e sectores público e privado.

Em 2002, o programa POE/MAPE foi renomeado para PRIME/MAPE e em 2003, o Governo português aprovou uma nova Resolução de Política Energética (Resolução do Conselho de Ministros n.º 63/2003, de 28 de Abril [26]) que seguiu o mesmo caminho da E4: manteve os subprogramas de solar térmico (incentivo do uso de colectores solares e implementação do uso de água quente solar) e de eficiência dos edifícios e a meta de obtenção de mais de 5.000 MW de energia adicional de fontes de energia renovável até ao ano de 2010 na produção de energia eléctrica.

O aumento substancial do preço do petróleo durante o ano de 2004, e o continuar durante 2005 e posteriores, acelerou as acções nacionais para diminuição dos problemas adicionais de Portugal nesta matéria - com a contínua dependência externa de mais de 85 % da energia final consumida, a factura de energia aumentou drasticamente.

Em consequência, novas metas foram estabelecidas pela Resolução do Conselho de Ministros n.º 119/2004, de 31 de Julho [26], a qual estabeleceu, mediante a adopção do Programa Nacional para as Alterações Climáticas (PNAC 2004), as medidas, à época consideradas como adequadas, para que Portugal viesse a atingir os objectivos fixados no Protocolo de Quioto e do acordo de partilha de responsabilidades da UE.

No sector solar térmico, e em complemento ao subprograma Água Quente Solar para Portugal, a mais emblemática medida está associada ao novo Regulamento de Construções - RCCTE ², o qual obriga a produção de água quente através de energia solar, quando tecnicamente possível e para um mínimo de fracção solar, em edificações novas e grandes remodelações.

O crescimento do mercado solar térmico não está a ser fundamentadamente suportado por incentivos públicos - fiscais ou outros - mas maioritariamente pela percepção da necessidade de alteração da dependência da energia primária dos combustíveis fósseis devido ao crescente aumento de preços nos últimos anos.

O plano nacional de acção para a Eficiência Energética (PNAEE) (2008-2015), aprovado pela Resolução do Conselho de Ministros n.º 80/2008, de 20 de Maio [26], integra o Programa Renováveis na Hora, orientado para o aumento da penetração de energias endógenas nos sectores residencial e de serviços. A medida designada por Solar Térmico, com o código R&S6M2, visa promover a

² Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE), aprovado pelo Decreto-Lei n.º 80/2006, de 4 de Abril.

substituição do consumo de energia fóssil por energia renovável, através da maior facilidade de acesso a tecnologias de micro-geração de energia térmica, materializada no aquecimento solar de águas quentes sanitárias. O programa engloba campanhas de divulgação; programa “Renove - Solar Térmico”, que se traduz no apoio à revitalização de equipamentos de solar térmico existentes; programa de incentivos para instalação de novo sistema solar térmico através de benefício fiscal de 30 % do investimento em sede de IRS; obrigatoriedade de instalação de solar térmico nos novos edifícios e programas orientados a segmentos específicos, tal como habitação social, piscinas e balneários e condomínios solares.

O objectivo a atingir com a medida de micro-produção térmica visa a criação de um mercado sustentado de 175.000 m² de colectores solares instalados por ano, o que conduzirá a um número na ordem de 1,4 milhões de m² de colectores instalados e operacionais até 2015, e que representará cerca de 1 em cada 15 edifícios com solar térmico. O valor de 1,4 milhões é dividido pelo sector residencial e de serviços. No sector residencial prevê-se em 2010 uma área total instalada de 417.410 m² e em 2015 de 1.113.093 m². No sector de serviços a área prevista em 2010 será de 102.215 m² e em 2015 de 272.572 m².

A medida Solar Térmico é compatível com o estipulado no PNAC, estando prevista uma antecipação dos respectivos objectivos, mediante um acréscimo de 75.000 m² de colectores solares instalados por ano, isto é, de 175.000 m²/ano em oposição a 100.000 m²/ano, anteriormente definidos no PNAC, o que se prevê conduzirá ao valor previsto de 1,4 milhões de colectores em 2015.

A factura energética de Portugal, devido à sua alta dependência externa e ao aumento do preço do petróleo, aliado ao compromisso internacional de Portugal no Protocolo de Quioto, têm elevado a política energética para um ponto de não retorno quanto ao uso de energia renováveis. Neste momento, a energia eólica tem recebido os mais importantes apoios e, no outro extremo, a energia fotovoltaica, com tarifas favoráveis, mas é seguro que num futuro próximo a contribuição da biomassa e do solar térmico sejam os passos a seguir.

1.2. ENQUADRAMENTO LEGISLATIVO

O novo Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE), aprovado pelo Decreto-Lei n.º 80/2006, de 4 de Abril [26], foi o primeiro instrumento legal que em Portugal impôs requisitos ao projecto de novos edifícios e de grandes remodelações de forma a salvaguardar a satisfação das condições de conforto térmico nesses edifícios sem necessidades excessivas de energia, quer no Inverno quer no Verão.

Esta nova versão do RCCTE (a anterior datava de 6 de Fevereiro de 1990) assenta no pressuposto de que uma parte significativa dos edifícios virão a possuir meios de intervenção nas condições ambientais nos espaços interiores, quer no Inverno quer no Verão, e impõe limites aos consumos que decorrem da sua potencial existência e uso.

No contexto internacional, também, é consensual a necessidade de melhoria da qualidade dos edifícios e redução dos seus consumos de energia e as correspondentes emissões de gases que contribuem para o aquecimento global ou efeito de estufa. Portugal obrigou-se a satisfazer compromissos neste sentido quando subscreveu o Protocolo de Quioto, tendo o correspondente esforço de redução das emissões de ser efectuado por todos os sectores consumidores de energia, nomeadamente pelo dos edifícios.

A presente legislação vem no seguimento da Directiva n.º 2002/91/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 16 de Dezembro, publicada no Jornal Oficial da União Europeia de 4 de Janeiro de 2003 [34]. A directiva determina, entre outras obrigatoriedades, a implementação de todas as medidas

pertinentes com viabilidade técnica e económica no sentido de melhorar o comportamento térmico dos edifícios novos e reabilitados, a contabilização das necessidades de energia para preparação das águas quentes sanitárias, numa óptica de consideração de todos os consumos de energia importantes, sobretudo neste caso, na habitação, com um objectivo específico de favorecimento da penetração dos sistemas de colectores solares ou outras alternativas renováveis.

A obrigatoriedade da instalação de colectores solares térmicos para a produção de água quente sanitária abre um amplo mercado para o desenvolvimento da energia solar renovável, subaproveitada à data, contribuindo para a diminuição da poluição e da dependência energética do nosso país.

Para uma maior flexibilidade na actualização destes objectivos em função dos progressos técnicos e dos contextos económicos e sociais, o RCCTE é estruturado de forma a permitir a actualização dos valores dos requisitos específicos, fixados de forma periódica pelos Ministérios que tutelam o sector.

O RCCTE estabelece as regras a observar no projecto de todos os edifícios de habitação e dos edifícios de serviços sem sistemas de climatização centralizados, de modo que as exigências de conforto térmico, seja ele de aquecimento ou de arrefecimento, e de ventilação para garantia de qualidade do ar no interior dos edifícios, bem como as necessidades de água quente sanitária, possam vir a ser satisfeitas sem dispêndio excessivo de energia.

1.3. OBJECTIVOS DO TRABALHO

É objectivo deste trabalho verificar a validade das disposições regulamentares em conjunto com considerações de ordem teórico-prático, num aprofundamento de princípios para optimização no dimensionamento de sistemas solares térmicos para uso doméstico.

1.4. ESTRUTURAÇÃO DO TEXTO

O texto está estruturado em quatro partes. A primeira engloba a introdução, onde se observa o panorama político e enquadramento legislativo sobre energias renováveis. Na segunda parte é efectuada uma introdução aos sistemas solares térmicos, desde a fonte de energia até ao elemento receptor e sua relação com o aproveitamento energético para o aquecimento de águas quentes sanitárias, terminando na certificação e panorama do mercado internacional e nacional. Na terceira parte, a mais prática, apresentam-se considerações, sobre as quais se verifica a validade e optimização de critérios de dimensionamento, baseada em exemplos concretos, com dimensões diferenciadas, de modo a permitir uma coerente análise. Por último, a quarta parte aborda as questões técnico-económicas e construtivas, fechando com uma síntese de conclusões.

2

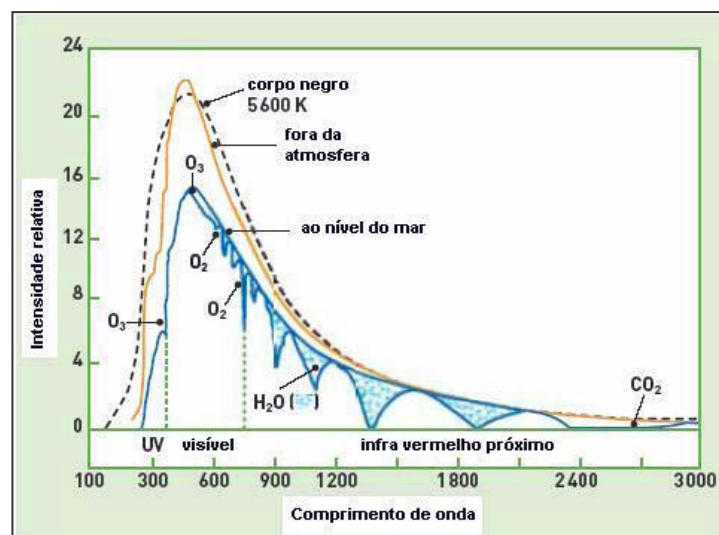
CARACTERIZAÇÃO DOS SISTEMAS

2.1. POLÍTICA E OBJECTIVOS NA ÁREA DA ENERGIA SOLAR

2.1.1. ENERGIA SOLAR DISPONÍVEL PARA APROVEITAMENTO ENERGÉTICO

O Sol é a nossa principal fonte de energia, responsável pela manutenção das várias formas de vida existentes na Terra.

No centro do Sol, mais propriamente numa região denominada fotosfera solar (camada muito tênue com aproximadamente 300 km de espessura e temperatura superficial da ordem dos 5.800 °K), a energia resultante das reacções de fusão dos núcleos dos átomos de hidrogénio, originando núcleos de hélio, é radiada para o espaço sobre a forma de energia electromagnética, a uma velocidade próxima dos 300.000 km/s. Esta energia, ao atingir a atmosfera terrestre pode ser absorvida ou reflectida pelos seus diferentes componentes. Dados recentes da WMO (World Metereological Organization) indicam que a radiação solar (ou irradiação solar) incidente sobre uma superfície perpendicular ao eixo Terra-Sol, situada nas camadas superiores da atmosfera, é de aproximadamente 1.367 W/m². Este valor médio é utilizado como referência, sendo designado por constante solar.



Espectro da radiação solar que chega à superfície da Terra (ao nível do mar). Comparação com a radiação fora da atmosfera. (As indicações de O₂, O₃, H₂O e CO₂ indicam a absorção do espectro por esses compostos).

Radiação fora da atmosfera	96 W/m ²	642 W/m ²	629 W/m ²	1.367 W/m ²
	7 %	47 %	46 %	100 %

Figura 1 - Espectro da radiação solar [17]

A constante solar está sujeita a pequenas alterações, provocadas pela variação da actividade solar e com a excentricidade da órbita da Terra. Estas variações, que se detectam para a gama dos raios ultra-violetas (UV), são menores que 5 %, e não são significativas para as aplicações de tecnologia solar térmica.

A distribuição espectral da radiação é constituída por radiação na gama dos raios ultra-violetas (7 %), da luz visível (47 %) e dos raios infra-vermelhos (46 %) (ver figura 1).

Após atravessar a atmosfera, num dia de céu relativamente limpo, a radiação solar incidente na normal à direcção dos raios solares atinge a superfície terrestre com uma potência inferior em cerca de 30 % da registada no topo da atmosfera, variando entre os 960 a 1.000 W/m². O decréscimo é devido à absorção e reflexão para o espaço [9].

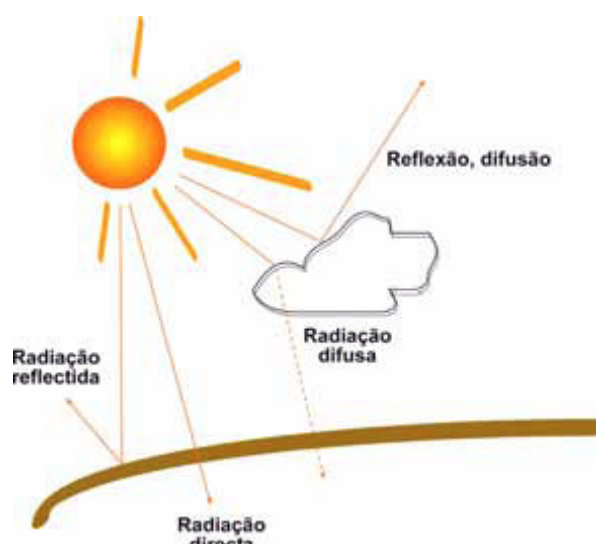


Figura 2 - Componentes da radiação [17]

A radiação absorvida que atinge o solo é constituída por três componentes (figura 2):

- radiação directa: atinge directamente a superfície;
- radiação difusa: desviada em diferentes direcções pelos componentes da atmosfera;
- radiação reflectida: proveniente da reflexão no solo e objectos circundantes.

A Terra descreve uma órbita elíptica em torno do Sol. A radiação recebida em cada ponto do planeta não é constante, já que depende de diversos factores, nomeadamente da época do ano, da latitude geográfica, das condições atmosféricas e da altitude. Devido à inclinação do eixo da Terra, os dias de Verão são maiores que os dias de Inverno e as altitudes solares que o Sol atinge são mais elevadas nos meses de Verão que no Inverno. A variação da radiação é da ordem dos 5 %, sendo cerca de 3,3 % devido à variação da distância Terra - Sol e de 1,5 % devido à própria actividade solar.

2.1.2 POTENCIAL DA RADIAÇÃO SOLAR

O Sol fornece anualmente, para a atmosfera terrestre, uma grande quantidade de energia correspondente a cerca de 10.000 vezes o consumo mundial de energia verificado nesse mesmo período.

No entanto, esta fonte é considerada demasiado dispersa, com as vantagens e os inconvenientes daí decorrentes. Entre os inconvenientes refira-se, sem dúvida, a necessidade da existência de grandes superfícies de captação para o seu aproveitamento. A sua grande vantagem reside no facto de se tratar de uma fonte de energia repartida equitativamente.

Em Portugal, o potencial disponível é bastante considerável, sendo um dos países da Europa com melhores condições para o aproveitamento deste recurso, dispondo de uma média anual de horas de Sol variável entre 2.200 a 3.000 horas, no Continente, e de 1.700 e 2.200 horas, respectivamente, para os arquipélagos dos Açores e da Madeira.

Na Alemanha, por exemplo, este indicador varia entre 1.200 a 1.700 horas.

Ao contrário do que é comum pensar-se, a variação da radiação solar útil entre o Sul e o Norte de Portugal (considerada no aproveitamento para aquecimento de águas) não é significativa, cifrando-se em aproximadamente 18 % entre o Porto e Faro.

O aproveitamento da radiação solar nos sistemas solares térmicos é portanto válido tanto a Norte como a Sul de Portugal.

A quantidade de energia solar que é possível captar depende do tipo de aplicação e do nível de consumos em função dos quais deverá ser efectuado um dimensionamento adequado da área colectora total (número de colectores instalados), o qual permitirá a produção da energia térmica necessária ao consumo de água quente, ao longo de todo o ano.

2.1.3 DADOS CLIMATOLÓGICOS

Nas figuras 3 e 4 mostra-se o potencial da radiação solar em Portugal em comparação com os restantes países europeus e entre Portugal e Espanha.

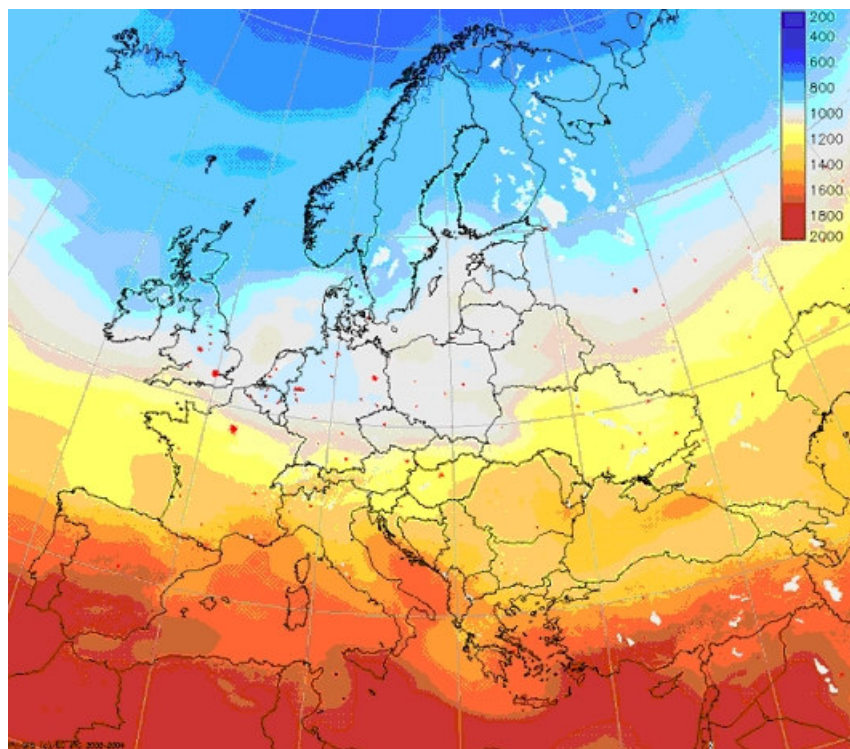


Figura 3 - Radiação solar horizontal anual na Europa (kWh/m²) - PVGIS [35]

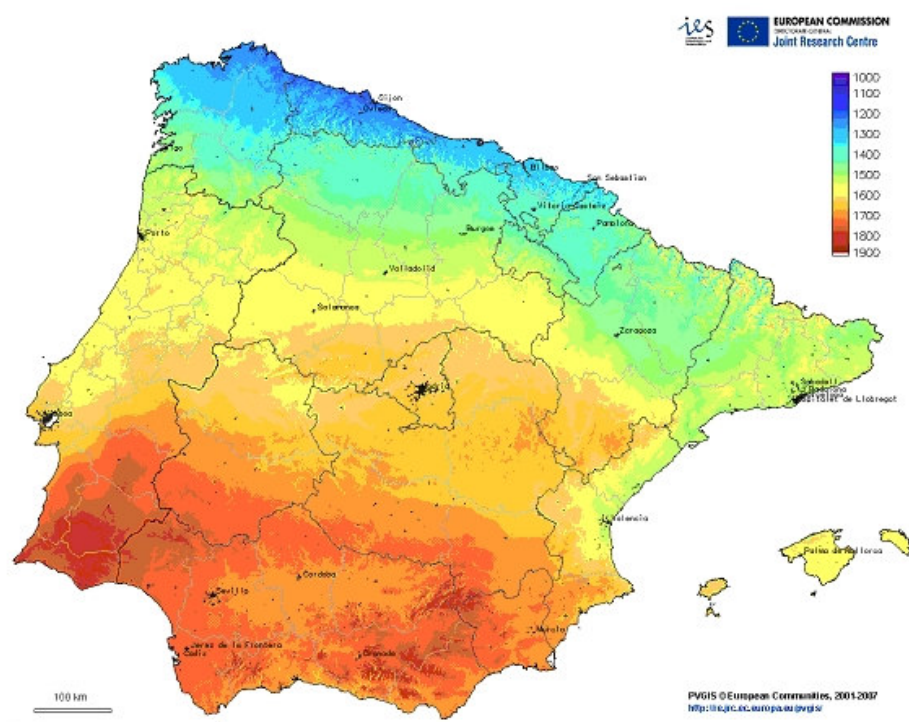
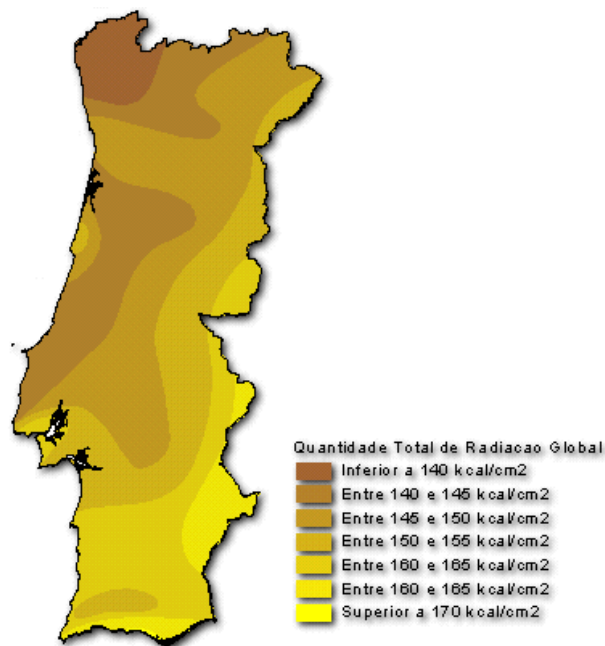


Figura 4 - Radiação solar horizontal anual em Portugal e Espanha (kWh/m²) - PVGIS [35]

O valor do somatório da média anual da radiação solar global, valor importante para o dimensionamento de sistemas solares - encontra-se entre aproximadamente 1.400 kWh/m² em Vila Real (Norte) e 1.700 kWh/m² de Faro (Sul), com um incremento de 18 % de Norte para Sul como se constata no mapa abaixo (figura 5). No entanto, a variação da radiação solar útil entre o Sul e o Norte de Portugal, aproveitada por um sistema solar para aquecimento de água, não é, como anteriormente referido, significativa.



Obs. 1.000 kcal = 1,163 kWh.

Figura 5 - Mapa da radiação global anual em Portugal - Atlas do Ambiente [32]

Durante o ano, a radiação solar global sofre variações ao longo do dia. Esta variação é sobretudo influenciada pela radiação directa.

Apresenta-se nas figuras 6, 7 e 8 a radiação solar diária horizontal (directa e difusa) e a média anual para o Porto, Lisboa e Faro.

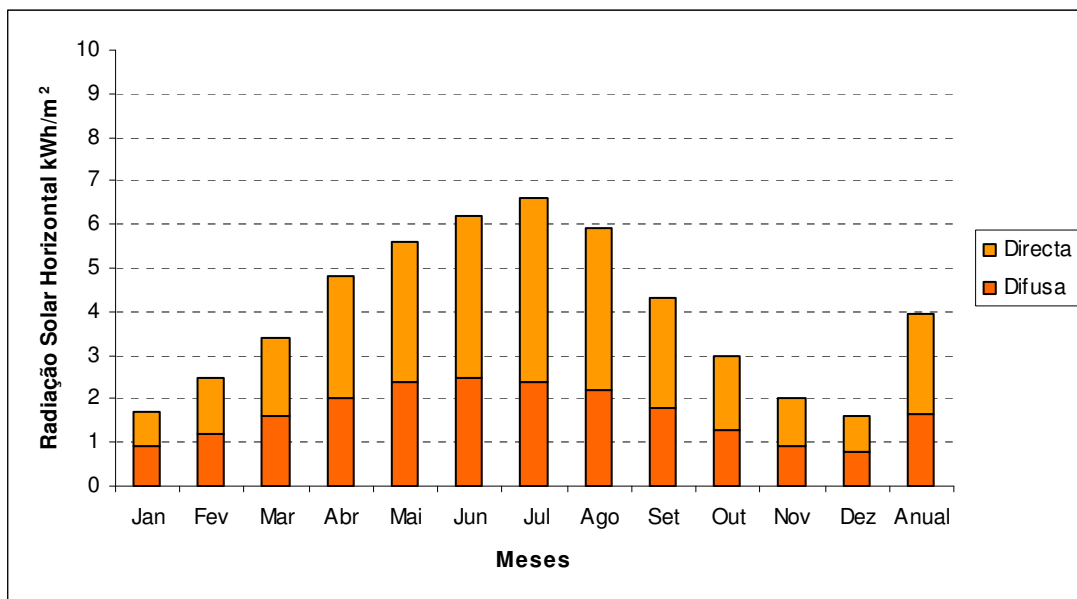


Figura 6 - Radiação solar horizontal no Porto

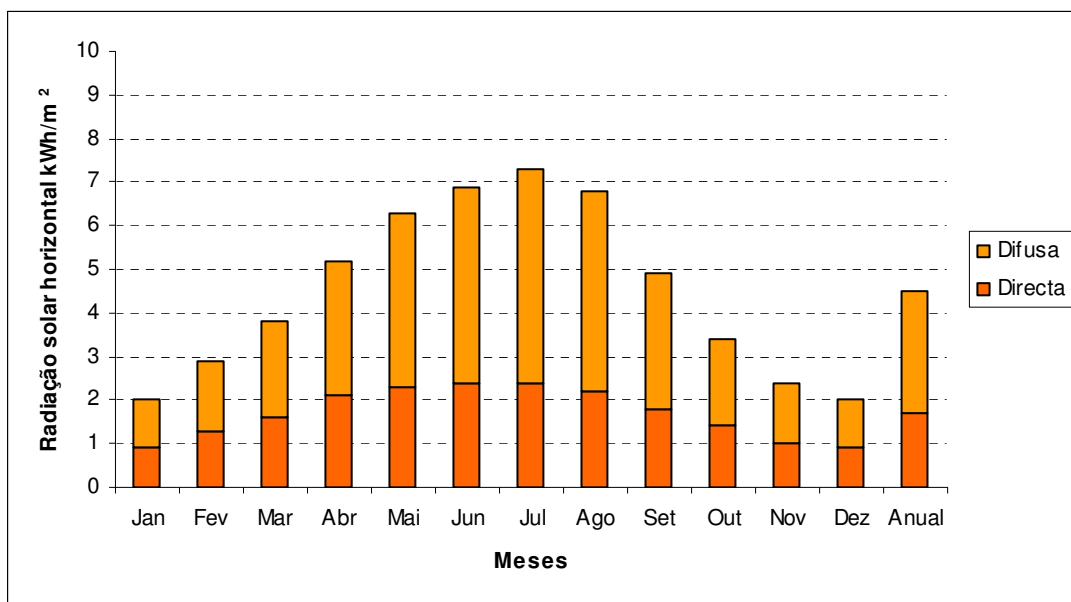


Figura 7 - Radiação solar horizontal em Lisboa

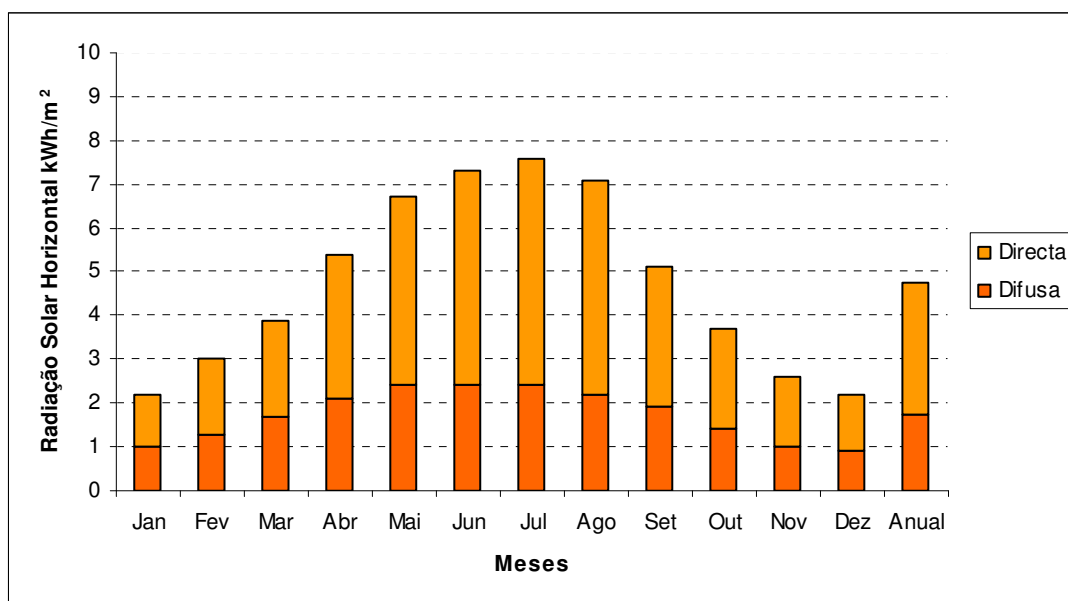


Figura 8 - Radiação solar horizontal em Faro

Verifica-se um aumento significativo no número de horas de radiação directa entre o Norte e o Sul de Portugal. O número de horas de radiação difusa mantém-se praticamente inalterado. O valor médio anual da radiação solar horizontal no Porto, Lisboa e Faro é de respectivamente 397, 449 e 473 Wh/m².

Para além da radiação solar global, o número de horas de luz, insolação, é também frequentemente utilizado para o dimensionamento de sistemas solares. Em Portugal, estes valores variam entre 1.800 e 3.100 horas por ano (figura 9).

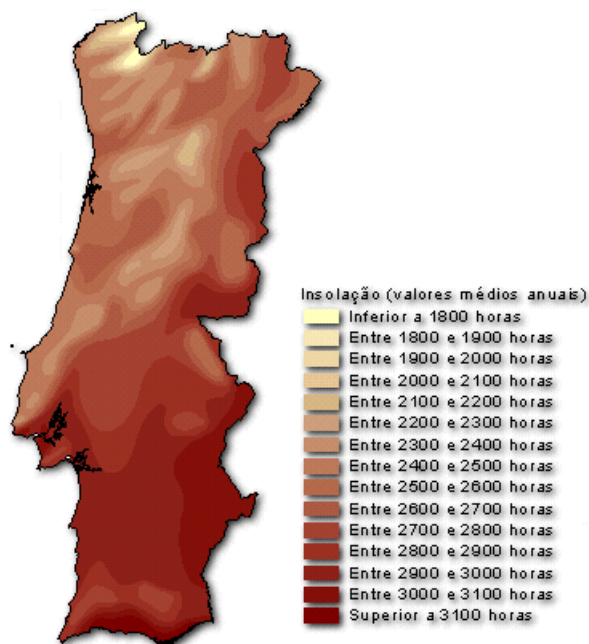


Figura 9 - Mapa da insolação global anual em Portugal - Atlas do Ambiente [32]

Em complemento juntam-se as horas médias anuais de insolação, referentes a um período entre 1961 a 1990 [18] de horas de Sol em três cidades de Portugal, representativas de 3 zonas distintas do país (figuras 10, 11 e 12).

Porto / Serra do Pilar

Lat.: 41° 08' N; Long.: 08° 36' W; Alt.: 93 m. Aproximadamente 2.200 horas anuais de insolação.

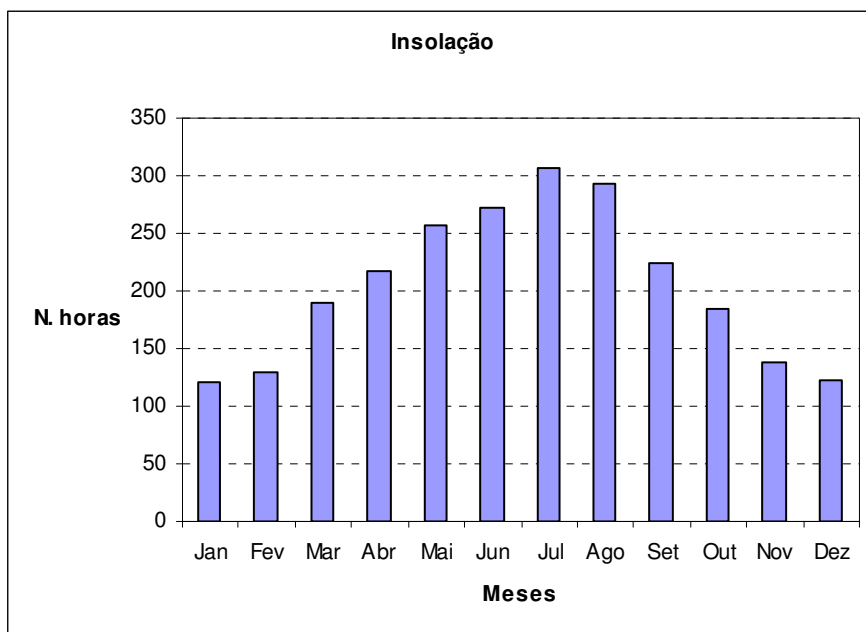


Figura 10 - Horas de insolação no Porto

Lisboa / Geofísico

Lat.: 38° 43' N; Long.: 09° 09' W; Alt.: 77 m. Aproximadamente 2.700 horas anuais de insolação.

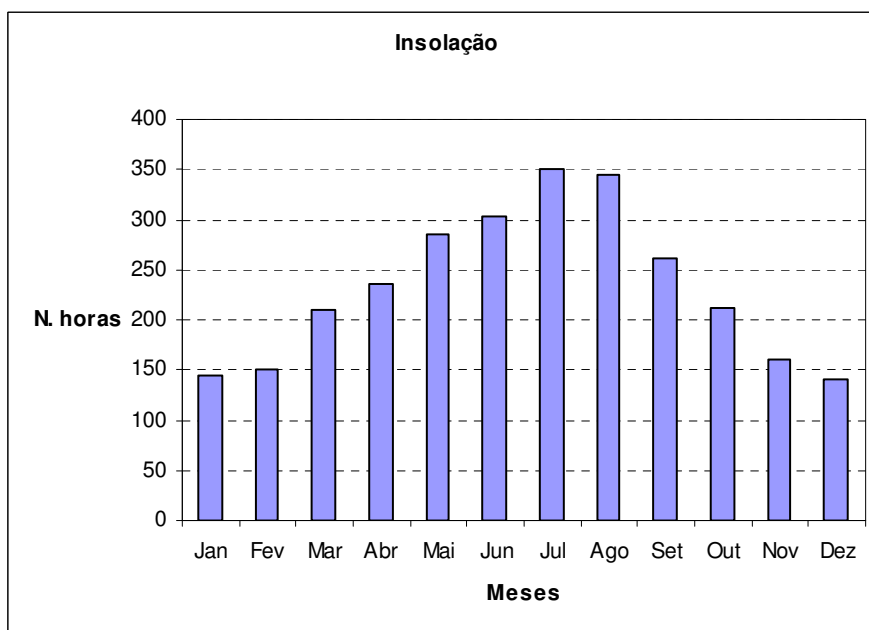


Figura 11 - Horas de insolação em Lisboa

Faro

Lat.: 37° 01' N; Long.: 07° 58' W; Alt.: 8 m. Aproximadamente 3.000 horas anuais de insolação.

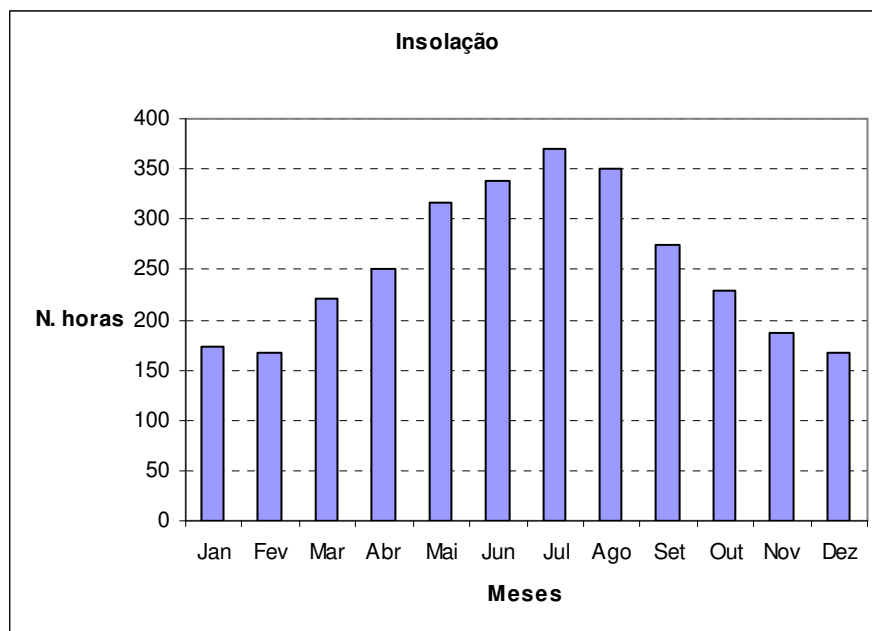


Figura 12 - Horas de insolação em Faro

2.2. SISTEMAS SOLARES TÉRMICOS

2.2.1 CONVERSÃO DE ENERGIA SOLAR EM ENERGIA TÉRMICA

Para se converter a energia solar, que está disponível sob a forma de radiação solar, em energia térmica, faz-se uso de um dispositivo capaz de captar a radiação solar e transferir a energia a um fluido de transferência. O dispositivo referido é o colector solar, sendo o elemento central e de maior peso económico numa instalação de captação de energia solar para aquecimento de água.

Os colectores solares estabelecem a ligação entre a energia proveniente do Sol e os utilizadores de água quente. O calor é gerado pela absorção dos raios solares através de uma placa metálica que se comporta como um corpo negro - a placa absorvora. Este é o componente mais importante do colector. Na placa absorvora está incorporado um sistema de tubagens que serve para transferir o calor gerado, para o fluido de transferência térmica (usualmente uma mistura de água e glicol para protecção dos colectores do perigo de congelamento), que por sua vez flui para o depósito de acumulação (ou armazenamento) de água quente. Geralmente este calor é transferido para a água potável através de um permutador de calor.

Ao arrefecer, o fluido de transferência escoar através de uma segunda conduta de volta ao colector, enquanto a água potável entretanto aquecida sobe no depósito de acumulação, criando uma estratificação térmica, na qual a água aquecida está no topo (onde está localizada a tomada de água quente), enquanto que a água fria se encontra no fundo (onde está localizado o abastecimento de água para aquecimento).

O funcionamento do sistema solar é baseado na comparação das temperaturas à saída do campo dos colectores e no ponto mais frio do depósito ou da piscina, no caso do aquecimento de água para

piscinas. Quando é atingido um diferencial de temperatura entre o colector e o depósito de acumulação, por circulação natural ou forçada, o fluido de transferência térmica no colector - que foi aquecido pelo Sol - circula para o depósito de acumulação de água, onde o calor é transferido para a água através de permutador de calor do sistema solar, que permite a transferência de energia disponível, do campo dos colectores para a água da piscina, se for esse o caso, ou para a água do depósito de acumulação, no caso de AQS.

2.2.2 ÁREAS DE UTILIZAÇÃO DA ENERGIA SOLAR

A grande vantagem da energia solar reside sobretudo em:

- utilizações finais directas;
- aplicações distribuídas;
- disponibilidade geográfica, sobretudo em locais onde outras fontes de energia são escassas ou não estão presentes.

A energia solar pode ser utilizada directamente para aquecer e iluminar edifícios, aquecer água de piscinas - sobretudo em equipamentos sociais, para fornecimento de água quente sanitária nos sectores doméstico, de serviços, de indústria e de agropecuária, entre outras aplicações.

A energia solar também possibilita a produção de elevadas temperaturas para produção de vapor de processo ou geração de electricidade, através de tecnologias de concentração da radiação.

Assim, em síntese, as principais áreas de utilização dos sistemas solares térmicos são as seguintes:

- produção de água quente sanitária (AQS), para uso doméstico, hospitalar, hotelaria e outros;
- aquecimento de piscinas;
- aquecimento ambiente;
- arrefecimento ambiente;
- produção de água a elevadas temperaturas destinada a uso industrial [6];
- outras aplicações.

Das áreas descritas, destacam-se duas:

i) Água quente sanitária doméstica e aquecimento ambiente

A maior parte do consumo de energia doméstica é baseada em duas necessidades básicas: água quente e aquecimento ambiente no Inverno. Para atingirmos esse objectivo, necessitamos de baixas temperaturas, na ordem dos 40 a 60 °C, as quais podem ser facilmente fornecidas pelo Sol, evitando gastos desnecessários de gásóleo, gás ou electricidade (combustíveis fósseis).

Mesmo o mais simples sistema solar térmico poderá fornecer uma larga parte das necessidades domésticas de água quente. Com um investimento inicial superior, aproximadamente 80 % das necessidades de água quente e uma parte substancial do aquecimento ambiente poderá ser coberto com energia solar.

ii) Apoio de energia solar no arrefecimento

Um sistema solar térmico convencional poderá fornecer água quente e aquecimento ambiente em simultâneo.

A procura de água quente é relativamente estável ao longo do ano, não acontecendo com a procura de arrefecimento no Verão, que coincide com o período de maior radiação solar. Neste caso, o excedente de energia solar disponível poderá providenciar parte da energia necessária para arrefecimento (chiller de absorção), e o défice de energia existente providenciado pelo sistema de apoio de complemento ao sistema solar térmico, sendo esta uma forma racional de se melhorar a utilização de energia solar.

Esta deverá ser uma solução a equacionar para os problemas de procura crescente das necessidades de arrefecimento na maior parte dos países da Europa. O maior entrave presentemente existente reside no custo inicial do sistema de absorção em comparação com as alternativas usualmente utilizadas para arrefecimento.

2.2.3 CLASSIFICAÇÃO DAS INSTALAÇÕES SOLARES TÉRMICAS

As instalações solares térmicas podem classificar-se segundo vários critérios, sendo habitual distinguirem-se pelo tipo de circulação, componentes de transferência de calor, energia de apoio e o seu carácter público ou privado, sendo esta última não passível de caracterização [9].

Tipo de circulação (classificação mais utilizada)

- circulação natural ou termosifão;
- circulação forçada.

Tipo de sistema de transferência de calor entre o colector e o acumulador

- transferência directa;
- transferência com permutador no acumulador (serpentinhas);
- transferência com permutador no acumulador (permutador de camisa);
- transferência com permutador independente.

Tipo de energia auxiliar

- sistema de energia auxiliar com depósito secundário centralizado;
- sistema de energia auxiliar em depósitos secundários distribuídos;
- sistema de energia auxiliar em linha centralizado;
- sistema de energia auxiliar em linha distribuído.

2.2.4 CARACTERIZAÇÃO DE UM SISTEMA SOLAR

Um sistema solar térmico é constituído essencialmente por dois componentes, a saber, o colector solar para captação da energia solar, do qual fazem parte a cobertura, a placa absorvedora e uma caixa isolada para evitar perdas de calor, e o depósito de acumulação de água quente.

A cobertura (em vidro ou policarbonato) tem duas funções. Por um lado, serve de protecção à superfície absorvedora, às tubagens e ao isolamento térmico, uma vez que, conjuntamente com a caixa, deve assegurar que o colector solar seja estanque ao ar e à água. Por outro lado, permite melhorar o rendimento do colector, quer pela redução das perdas por convecção (o absorvedor não está em contacto directo com o ar exterior), quer pela criação do efeito de estufa. Efectivamente, ao captar radiação solar, com comprimento de onda relativamente ao qual a cobertura é transparente, a superfície absorvedora aquece e emite radiação de maior comprimento de onda, para o qual a cobertura é “opaca”, não deixando assim que esta se perca para o exterior. O calor resultante do aquecimento da placa absorvedora é transferido para um fluido que circula nas tubagens.

Estes componentes podem ser interligados com ou sem electrobomba circuladora. Usualmente a interligação sem electrobomba circuladora, vulgo termosifão (circulação natural), é utilizada em habitações unifamiliares.

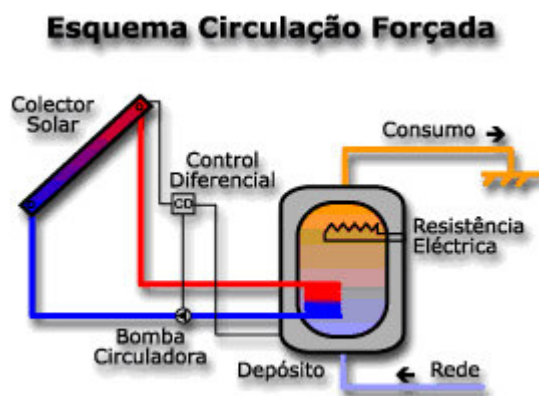
A interligação com electrobombas (circulação forçada) é normalmente utilizada em sistemas maiores ou quando o termosifão não for possível, isto é, na impossibilidade de colocar o depósito acima do colector ou quando as distâncias entre os colectores e os depósitos sejam grandes.

No seguimento da classificação mais utilizada caracterizam-se os sistemas de circulação natural e forçada.

Circulação forçada

O funcionamento de um sistema de circulação forçada é caracterizado pela existência de uma electrobomba circuladora com o objectivo de forçar a circulação do fluido de transferência nos colectores. A electrobomba é comandada por um sistema de comando diferencial que reage ao diferencial de temperatura entre a água à saída dos colectores e a temperatura da água na parte mais baixa do depósito, normalmente de 5 °C. Quando este valor é atingido, a electrobomba circuladora é activada e o fluido de transferência térmica no colector circula para o depósito de acumulação de água, onde o calor é transferido para a água através de permutador de calor (figura 13). Para prevenir uma eventual circulação em sentido contrário, no caso da temperatura do fluido nos colectores ser inferior à temperatura no depósito, devem ser instaladas válvulas anti-retorno. Dependendo do clima, da composição química da água do local e da pressão da rede, este tipo de sistema poderá precisar de mecanismos de segurança para prevenir a congelação, a corrosão e facilitar o enchimento dos colectores à pressão pretendida.

Resumidamente, um sistema solar é constituído, para além do colector solar, por um depósito de acumulação, electrobomba circuladora, circuito primário, permutador de calor, vaso de expansão, purgador de ar, válvula de segurança e o equipamento convencional de apoio energético.



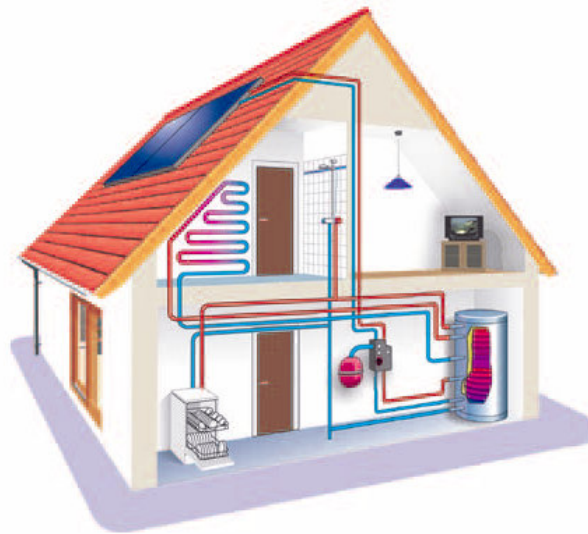


Figura 13 - Sistema forçado de circulação. Água quente doméstica e aquecimento ambiente [12] [29]

Circulação natural (ou termosifão)

O sistema de termosifão consiste geralmente num conjunto de colectores ligados a um depósito bem isolado e posicionado a um nível mais elevado do que os colectores. Não são necessárias electrobombas circuladoras, pois a circulação é efectuada por convecção natural, induzida pela diferença de densidade entre a água quente e fria. A água no colector fica menos densa ao ser aquecida, deslocando-se para a parte superior do circuito, dentro do depósito. A água mais fria, mais densa, desloca-se para a parte mais baixa do circuito, à entrada do colector. Uma vez no colector, o ciclo começa de novo e a circulação continua, desde que haja radiação solar. O caudal de circulação aumenta com o aumento da intensidade de radiação solar e a água a utilizar é retirada da parte superior do depósito solar (figura 14).

Por norma, o depósito deverá ficar na parte superior do colector para evitar que durante a noite se dê um efeito de termosifão invertido - que pode ser evitado através de uma válvula anti-retorno. Estes sistemas simples são compostos pelo colector solar, depósito, purgador de ar, vaso de expansão e outros pequenos acessórios.

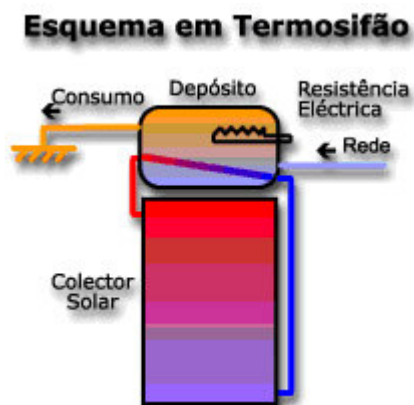




Figura 14 - Sistema natural de circulação. Água quente doméstica [12] [29]

As vantagens e as desvantagens dos sistemas de circulação são as seguintes:

Quadro 1 - Vantagens e desvantagens dos sistemas de circulação

	Vantagens	Desvantagens
Circulação natural	<ul style="list-style-type: none"> - não necessita de energia eléctrica - simples e de baixo custo - utilização mais frequente em sistemas unifamiliares de baixa potência e em zonas de baixo risco de congelamento 	<ul style="list-style-type: none"> - dificuldade de circulação em sistemas de média dimensão - posicionamento superior do depósito de acumulação em relação aos colectores solares - não faculta a regulação da temperatura do depósito
Circulação forçada	<ul style="list-style-type: none"> - circulação entre depósito e colector em qualquer posicionamento - permite a regulação da temperatura do sistema mediante a acção da electrobomba circuladora - utilização mais frequente em sistemas multifamiliares 	<ul style="list-style-type: none"> - necessita de energia eléctrica - mais complexo e de maior custo

Nas aplicações de carácter doméstico são utilizados essencialmente os seguintes quatro tipos de colectores:

- colectores planos sem cobertura;
- colectores planos com cobertura;

- colectores concentradores com cobertura (CPC);
- colectores de tubos de vácuo.

De seguida, descreve-se resumidamente os tipos de colectores referidos anteriormente e o seu campo de utilização.

Colectores planos sem cobertura

Estes colectores resumidamente compreendem tubos de plástico (prolpropileno, policarbonato ou polivinil), colocados em forma de esteira e unidos por dois tubos de maior diâmetro nas partes superior e inferior. A utilização deste tipo de colectores é sazonal. Em termos económicos, são mais acessíveis do que os colectores com cobertura, embora o tempo de retorno do investimento seja bastante similar, pois têm menor eficiência e é exigida uma maior área de captação.

De referir que a utilização de colectores sem cobertura torna necessário que sejam colocados num local onde estes estejam abrigados do vento, já que são particularmente sensíveis a velocidades do vento superiores a 1 m/s, que conduzem a uma diminuição drástica do seu rendimento.

Para além deste aspecto, as temperaturas baixas do ar exterior no Inverno tornam igualmente inadequada a utilização destes colectores para o aquecimento de água, nomeadamente de piscinas cobertas no Inverno, em que se justifica a utilização de colectores com cobertura.

Pode esquematizar-se a utilização no aquecimento de água de piscinas ao ar livre, com funcionamento no Verão (figura 15).



Figura 15 - Colector plano sem cobertura [7] [31]

Colectores planos com cobertura

Trata-se do colector mais convencional, constituído por uma superfície absorvedora, fixada numa caixa estanque, com uma cobertura transparente, geralmente de vidro, que devido ao efeito de estufa, reduz as perdas térmicas. O isolamento térmico da parte posterior da caixa também contribui para minimizar as perdas. Este tipo de colector solar pode funcionar eficientemente durante todo o ano.

Com a placa absorvedora pintada de negro-mate, atingem-se temperaturas máximas de funcionamento da ordem dos 50 °C (dentro dos valores usuais de temperatura utilizada na água quente), com bom rendimento.

Com os chamados recobrimentos selectivos, podem conseguir-se, ainda com bom rendimento, temperaturas da ordem dos 60 a 70 °C, reduzindo as perdas caloríficas por radiação. Estes revestimentos da placa absorvedora obtêm-se através de um tratamento electroquímico ou de uma pulverização catódica, que confere à placa propriedades ópticas que reduzem a emissão da radiação infravermelha, mantendo a sua capacidade de absorção elevada, como a tinta negra.

São utilizados para a produção de águas quentes, pré-aquecimento de água de processos industriais e aquecimento de água de piscinas cobertas (figura 16).

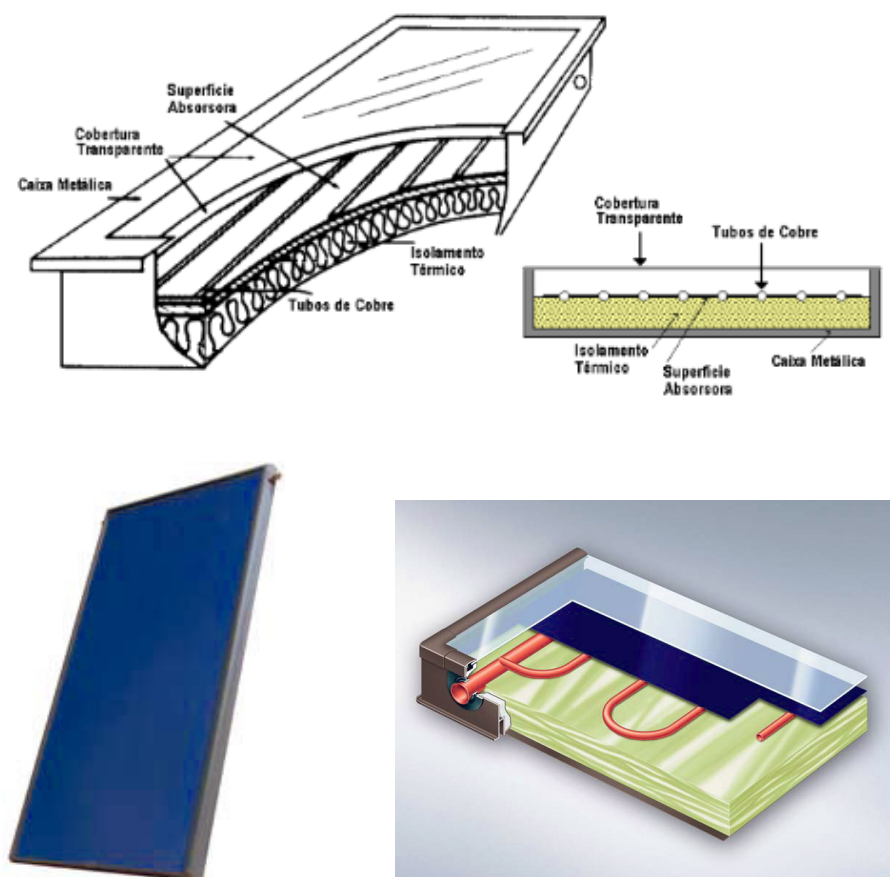


Figura 16 - Colector plano com cobertura [7] [33]

Colectores concentradores com cobertura (CPC)

O colector do tipo CPC, isto é, concentrador parabólico composto, é direccionado para utilizações a temperaturas mais elevadas, na ordem dos 110 °C. A diferença entre este tipo e os mais convencionais colectores planos reside no tipo de óptica utilizada e na geometria da superfície absorvedora. Os convencionais, como o nome indica, são constituídos por uma placa absorvedora plana, à qual estão soldados, embutidos ou prensados tubos. Por seu lado, os do tipo CPC são compostos por uma série de reflectores, com uma forma que lhes confere uma óptica de baixa concentração, que lhes permite serem igualmente estacionários como os colectores planos.

Por cima de cada reflector é colocada uma alheta (superfície absorvedora) em contacto com o tubo por onde circula o fluido a aquecer.

A utilização para produção de águas quentes e pré-aquecimento de água de processos industriais é apresentada em figura (figura 17).

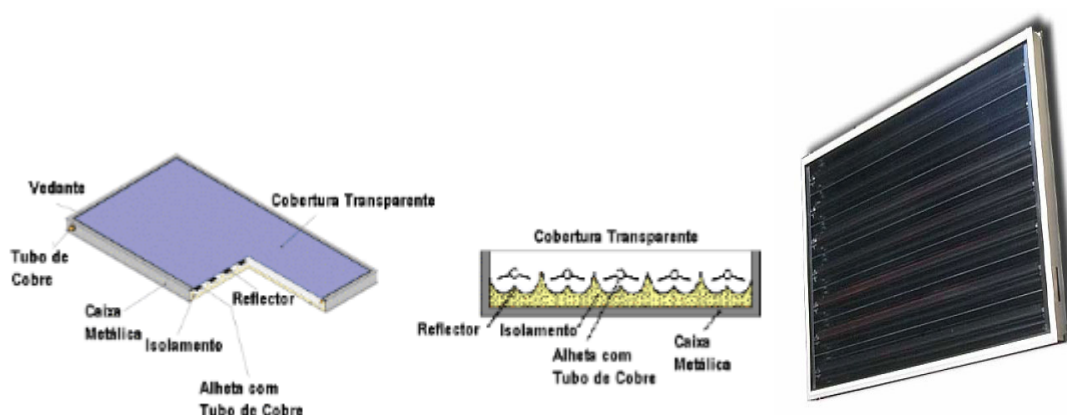
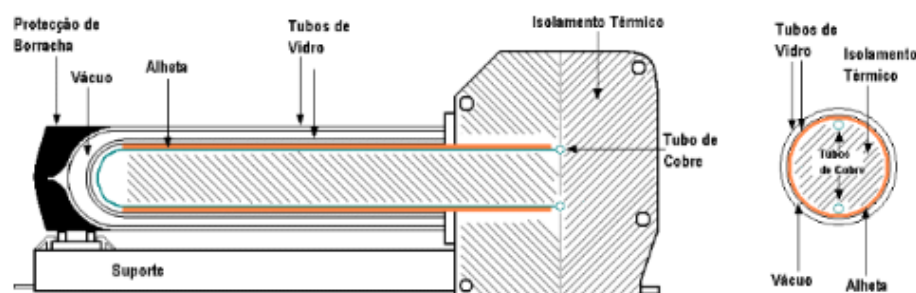


Figura 17 - Colector concentrador com cobertura [7] [33]

Colectores de tubos de vácuo

Para temperaturas de funcionamento ligeiramente superiores (< 120 °C) com bom rendimento, já é necessário recorrer a colectores de vácuo. No interior destes colectores, normalmente tubulares, é efectuada a extracção do ar, de modo a reduzir na sua quase totalidade as perdas de calor por convecção e por condução da placa absorvedora.

São utilizados para a produção de águas quentes e pré-aquecimento de água de processos industriais (figura 18).



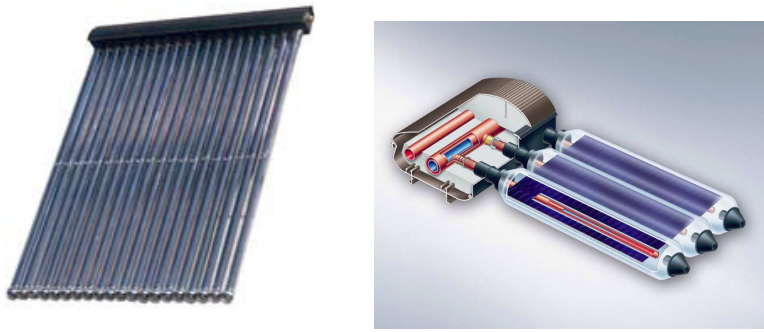


Figura 18 - Colector de tubos de vácuo [7] [33]

As vantagens e desvantagens dos diversos tipos de colectores solares térmicos são as seguintes [15]:

Quadro 2 - Vantagens e desvantagens dos colectores solares

	Vantagens	Desvantagens
Colector plano sem cobertura	<ul style="list-style-type: none"> - placa absorvora substitui a cobertura do telhado - diversas formas disponíveis - solução estética para alguns tipos de telhados 	<ul style="list-style-type: none"> - baixa performance motiva a instalação de maior área em relação a outros tipos de colectores
Colector plano com cobertura	<ul style="list-style-type: none"> - mais económico que os colectores concentrador e de tubos de vácuo - múltiplas opções de montagem - boa relação preço/performance - montagem simples 	<ul style="list-style-type: none"> - menor eficiência em relação aos colectores concentrador e de tubos de vácuo - valores de perdas térmicas consideráveis - limitado a médias temperaturas - requerem mais espaço que os colectores de tubo de vácuo
Colector concentrador com cobertura	<ul style="list-style-type: none"> - elevada eficiência na presença de diferenças consideráveis de temperatura entre o absorvora e o meio ambiente - elevada eficiência com baixa radiação - funcionalidade com elevadas temperaturas 	<ul style="list-style-type: none"> - custo superior a um colector plano
Colector de tubos de vácuo	<ul style="list-style-type: none"> - boa eficiência na presença de diferenças consideráveis de temperatura entre o absorvora e o meio ambiente - boa eficiência com baixa radiação - funcionalidade com elevadas temperaturas - facilidade de transporte e montagem - alinhamento das placas absorvoras em relação à direcção do Sol - possibilidade de montagem horizontal 	<ul style="list-style-type: none"> - custo superior a um colector plano - limitações nas aplicações em cobertura

2.2.5 TEMPERATURA DE FUNCIONAMENTO E UTILIZAÇÃO DOS COLECTORES

Os colectores podem ser seleccionados em função da sua temperatura de funcionamento. Deste modo, pode ser efectuada uma divisão em dois grandes grupos:

- colectores sem concentração - capazes de alcançarem temperaturas de 70 °C, pelo que são utilizados para aplicações domésticas e industriais com processos que não necessitem de temperaturas muito elevadas;
- colectores de concentração - recurso a métodos de concentração óptica, sendo capazes de elevar a temperatura do fluido a valores altos, com aplicação maioritariamente em processos industriais.

As aplicações, desde a doméstica até à industrial, utilizam níveis de temperaturas díspares, para as quais os sistemas solares térmicos divergem na tecnologia a propor. Poderão considerar-se os seguintes níveis de temperatura:

- temperaturas baixas: até 90 °C;
- temperaturas médias: de 90 °C a 150 °C;
- temperaturas altas: de 150 °C a 300 °C;
- temperaturas muito altas: superiores a 300 °C.

Sempre que seja possível, o aquecimento da água deverá ser limitado ao nível de temperatura que é realmente necessário com o propósito de economia de energia.

A relevância para o presente documento centra-se nas temperaturas baixas. Dentro das temperaturas baixas poderemos diferenciar em dois tipos diferentes:

- aquecimento de piscinas (inferiores a 30 °C);
- aquecimento de AQS ou pré-aquecimento industrial (inferiores a 90 °C).

Em qualquer destas aplicações, produção de AQS e aquecimento de água de piscina, a quantidade de calor perdida aumenta com a diferença entre a temperatura a que se pretende conservar a água e a temperatura ambiente. Por isso se procura que a temperatura da água seja a mínima compatível com a necessária para a utilização requerida. Para as utilizações de carácter doméstico, não se exigem temperaturas superiores a 60 °C - 70 °C para AQS e de 24 - 28 °C para aquecimento de piscinas.

A selecção do colector a utilizar passa ainda por considerações de natureza económica, já que os colectores mais sofisticados são normalmente mais caros.

A figura 19 representa uma comparação entre colectores em termos de temperatura de funcionamento acima da temperatura ambiente, com rendimento aceitável (> 40 °C).

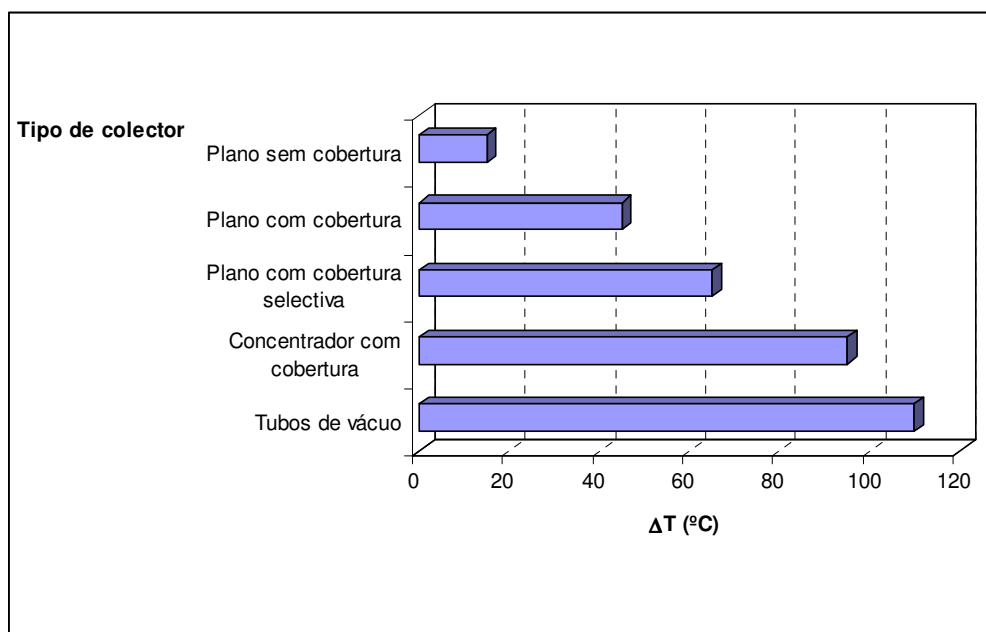


Figura 19 - Temperatura de funcionamento dos colectores acima da temperatura ambiente [5]

Para piscinas exteriores, cuja época balnear normalmente se prolonga de Maio a Setembro, os colectores a utilizar numa instalação solar serão preferencialmente os colectores de plástico sem cobertura (este tipo de colectores na generalidade apenas consegue fornecer energia à piscina quando as temperaturas ambientes são superiores a 15 °C). A utilização destes colectores permite a circulação directa da água da piscina pelos mesmos (uma vez que o cloro não ataca os materiais dos mesmos). No entanto, para o aquecimento de água de piscinas cobertas no Inverno, justifica-se a utilização de colectores com cobertura. Em termos económicos, são mais acessíveis do que os colectores com cobertura, embora o tempo de retorno do investimento seja bastante similar.

Para as aplicações domésticas de produção de água quente sanitária, armazenamento até 60 °C, são normalmente utilizados os colectores planos com cobertura. A popularidade destes colectores deve-se, essencialmente, à sua simplicidade e relativo baixo custo.

Para temperaturas mais elevadas (temperaturas de funcionamento na ordem dos 80 °C a 90 °C), são utilizados colectores concentradores do tipo CPC ou, alternativamente colectores de tubos de vácuo. Nos primeiros, a redução das perdas térmicas por radiação é conseguida à custa de uma menor superfície de absorção para uma mesma área de abertura, enquanto que nos outros, os tubos onde circula o fluido, estão inseridos em tubos de vidro, dentro dos quais é efectuado vácuo, de modo a reduzir as perdas por convecção e por condução.

O colector deverá ser escolhido em função da temperatura de utilização, devendo o seu rendimento ser superior a 40 % (quadro 3).

Quadro 3 - Tipo de instalação em função da temperatura de utilização [17]

Tipo de instalação	Temperatura de utilização	Tipo de colector
Piscinas	$< 30\text{ }^{\circ}\text{C}$	Plano sem cobertura Plano com cobertura - negro-mate - selectivo
Águas quentes sanitárias	$< 60\text{ }^{\circ}\text{C}$	Plano com cobertura - negro-mate - selectivo CPC (baixa concentração)

2.2.6 PRINCÍPIO DE LIGAÇÃO ENTRE SISTEMAS DE COLECTORES

Qualquer opção de ligação tem que ter em consideração o seguinte:

- as características hidráulicas do circuito não devem introduzir perdas de carga desnecessárias;
- a temperatura de saída nos colectores ou baterias simétricas deve ser igual;
- a temperatura de saída do campo dos colectores e/ou de cada uma das filas não deve exceder um valor pré-estabelecido (por exemplo $65\text{ }^{\circ}\text{C}$ se não houver descalcificação da água num circuito directo, ou $100\text{ }^{\circ}\text{C}$, em geral, para evitar a produção de vapor);
- o caudal de circulação deve ser o mesmo em cada fila;
- na ligação entre colectores deve sempre respeitar-se as indicações do fabricante.

Como se mostra esquematicamente na figura 20, os colectores podem estar ligados nas seguintes configurações: paralelo, paralelo de canais, série e ainda combinações de todas elas (figura 21).

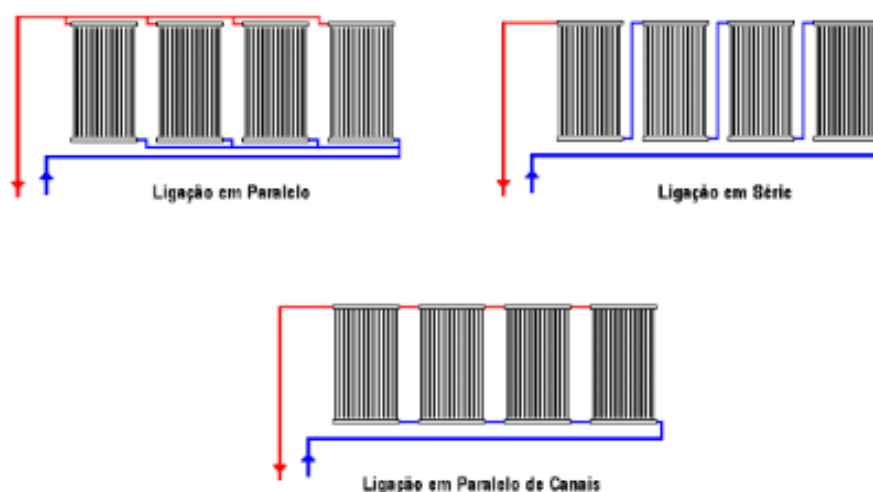


Figura 20 - Ligação paralelo / Série / Paralelo de canais [5]

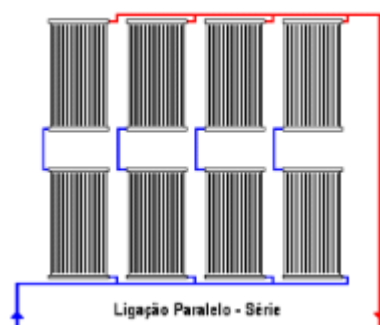


Figura 21 - Ligação paralelo - série [5]

As vantagens e as desvantagens dos vários tipos de ligação entre colectores estão abaixo retratadas.

Quadro 4 - Vantagens e desvantagens função do tipo de ligação entre colectores

Tipo de ligação	Vantagens	Desvantagens
Em série	<ul style="list-style-type: none"> - caudal de circulação igual em todos os colectores - menores caudais - diâmetros de tubagem inferiores - menor comprimento de tubagem - menores custos de instalação e operação 	<ul style="list-style-type: none"> - aumento da temperatura da água produzida com a inerente diminuição do rendimento do sistema
Em paralelo	<ul style="list-style-type: none"> - funcionamento térmico similar em todos os colectores - rendimento do sistema superior 	<ul style="list-style-type: none"> - diâmetros de tubagens superiores - maior comprimento de tubagem - número superior de acessórios
Em paralelo de canais	<ul style="list-style-type: none"> - menor comprimento de tubagem 	<ul style="list-style-type: none"> - reduzido número de colectores em ligação
Em paralelo-série	<ul style="list-style-type: none"> - rendimento do sistema superior 	<ul style="list-style-type: none"> - aplicação em grandes instalações - instalação mais complexa

2.2.7 SISTEMAS DE APOIO

Nos meses de menor insolação, o fornecimento de uma parte da energia térmica necessária será assegurada mediante sistemas de apoio.

A energia de origem solar deverá ser sempre aplicada sobre a água fria, na entrada da rede de distribuição de água. A energia convencional de apoio deverá ser utilizada somente sobre a água pré-aquecida pela energia solar.

A energia solar é gratuita e a energia convencional não. O consumo energético deverá realizar-se prioritariamente com a primeira e somente se recorrer à energia de apoio quando a insolação não for

suficiente. O sistema de armazenamento deve garantir prioritariamente o uso da energia solar face à energia convencional.

Há várias maneiras de assegurar a complementaridade sem pôr em causa a prioridade ao sol, produção do tipo instantâneo ou de acumulação.

Produção instantânea da energia de apoio.

O equipamento gerador de apoio fornece a potência necessária em cada instante, variável em função da temperatura do pré-aquecimento solar. O equipamento de produção instantânea (por exemplo, um esquentador a gás) deverá situar-se à saída do acumulador solar (em série com a instalação solar). É uma instalação muito prática e recomendável para habitações unifamiliares com sistemas de aquecimento solar por termosifão.

Produção por acumulação da energia de apoio.

i) Energia de apoio num acumulador independente.

Este acumulador situar-se-á entre o acumulador solar e os pontos de consumo. A missão deste acumulador de apoio é receber a água pré-aquecida pelo sistema solar e fornecer a energia que ainda for necessária. A produção poderá ser efectuada mediante caldeira a gás, caldeira a gasóleo e equipamentos de aquecimento por resistência eléctrica.

ii) Energia solar e de apoio no mesmo acumulador

Um acumulador único que armazene a energia solar e a energia de apoio num mesmo reservatório proporciona um alto risco de mistura e para o evitar é necessário tomar certas precauções, designadamente quanto à estratificação, havendo casos em que tudo se passa como se tivéssemos dois depósitos sobrepostos, o solar em baixo e o de apoio em cima. O respeito deste princípio, junto com os anteriores, conduzirá a um bom funcionamento da instalação assegurando um elevado rendimento na conversão solar.

A transferência de calor unitária efectuar-se-á mediante permutadores internos e externos.

Dentro dos permutadores de calor internos disponíveis existem os tubulares com alhetas e os tubulares lisos. Deverá ser promovida a instalação vertical dos permutadores para facultar a estratificação térmica no sistema de armazenamento.

Os permutadores de calor externos são diferenciados por dois tipos: de placas ou tubulares.

Nos circuitos não secundários das instalações de aquecimento indirecto em que a água de utilização possa entrar em contacto directo com os utilizadores finais, quer em sistemas em que a água utilizada é para fins sanitários (duches, piscinas, etc.), é necessário evitar que os fluidos de transferência ou os aditivos eventualmente utilizados para redução dos problemas de congelação, corrosão ou incrustação possam contaminar a água de utilização.

2.2.8 INTEGRAÇÃO DOS SISTEMAS EM EDIFICAÇÕES

Em Portugal, a orientação preferencial para os sistemas solares é o Sul e a inclinação na ordem dos 36 °. No entanto um desvio até 45 ° para Este ou Oeste, não prejudica mais de 5 %, isto desde que a inclinação se reduza para aproximadamente 25 ° (ver quadro 7).

A exposição solar adequada, no seguimento das disposições regulamentares, na base de 1 m² de colector por ocupante convencional previsto, pode ser reduzida de forma a não ultrapassar os 50 % da

área de cobertura total disponível em terraço ou nas vertentes orientadas no quadrante Sul, entre Sudeste e Sudoeste.


O número de ocupante convencional é definido em função da tipologia da edificação, sendo para um T0 de duas pessoas. Para tipologias superiores aplicar-se-á a relação $n+1$, sendo n o valor da tipologia da fracção autónoma - ver quadro VI.1 do RCCTE.

Por exposição solar adequada entende-se uma cobertura em terraço, uma cobertura inclinada cuja normal esteja orientada numa gama de azimutes de 90° entre Sudeste e Sudoeste e as coberturas não deverão ser sombreadas por obstáculos significativos no período que se inicia diariamente duas horas depois do nascer do Sol e termina duas horas antes do ocaso.

A colocação de colectores deverá obedecer às seguintes regras [5]:

- orientação a Sul, ou próximo do Sul ($\pm 10^\circ$);
- inclinação próxima do valor de latitude (produção de AQS e aquecimento de água de piscinas cobertas todo o ano). 10 a 15° a menos para piscinas exteriores de Verão;
- local livre de sombras ao longo de todo o ano;
- fácil acesso para limpeza, vistoria e reparação.

Nos edifícios multifamiliares, geralmente prédios de habitação colectiva, existem quatro opções básicas para a integração de uma instalação de energia solar [5] [20].

i) Sistema solar colectivo totalmente centralizado. Colectores comuns na cobertura ou na fachada do edifício, depósito de acumulação comum de água quente e sistema de apoio comum, constituído, por exemplo, por uma caldeira a gás. A contabilização de água fria e água quente é independente (ver simbologia de contador - ).

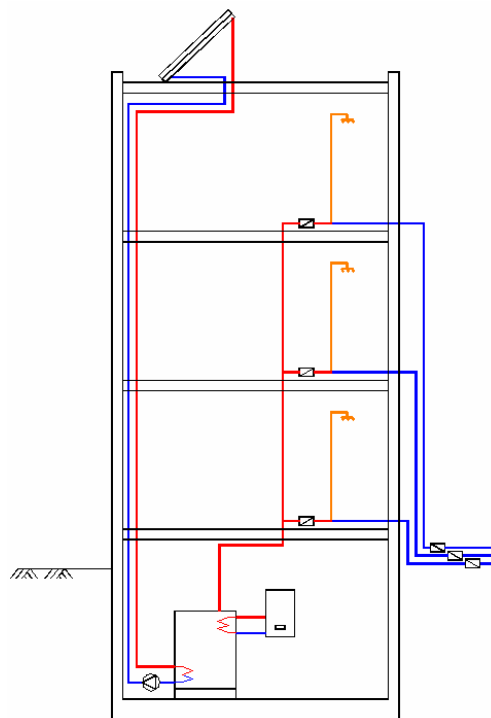


Figura 22 - Sistema solar colectivo totalmente centralizado

ii) Sistema solar colectivo centralizado com apoios individuais. Colectores comuns no telhado ou na fachada do edifício, depósito de acumulação comum de água quente e sistema de apoio individual, do tipo esquentador, caldeira mural ou termoacumulador, para cada fracção em linha com o depósito. A contabilização de água fria e água quente é independente.

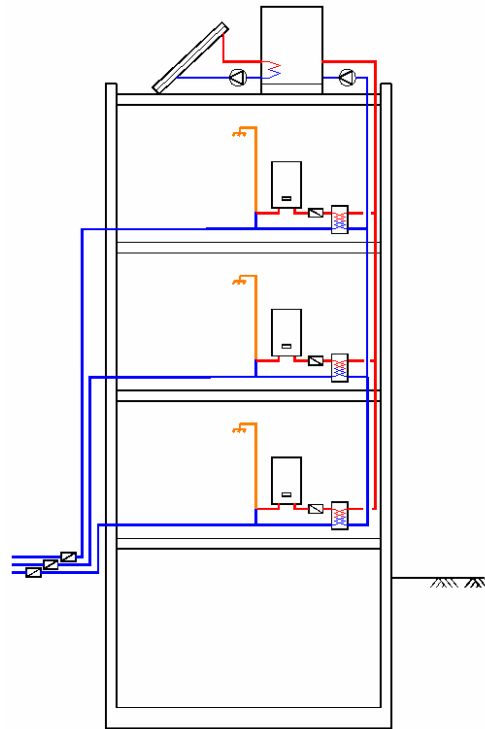


Figura 23 - Sistema solar colectivo centralizado com apoios individuais

iii) Sistema solar colectivo de colectores centralizado. Colectores comuns no telhado ou na fachada do edifício, depósitos e sistemas de apoio individuais para cada fracção. A contabilização de água fria e água quente é independente.

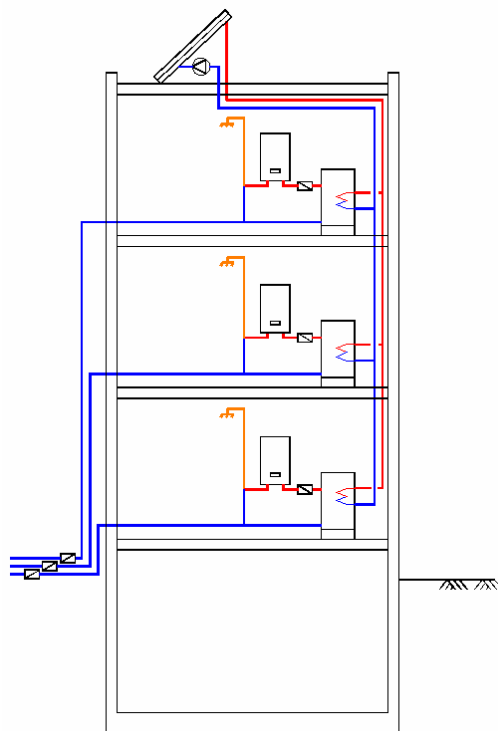


Figura 24 - Sistema solar colectivo com apoio e depósito de acumulação individualizados

iv) Sistema solar totalmente individual (termosifão). Só existe contabilização de água fria.

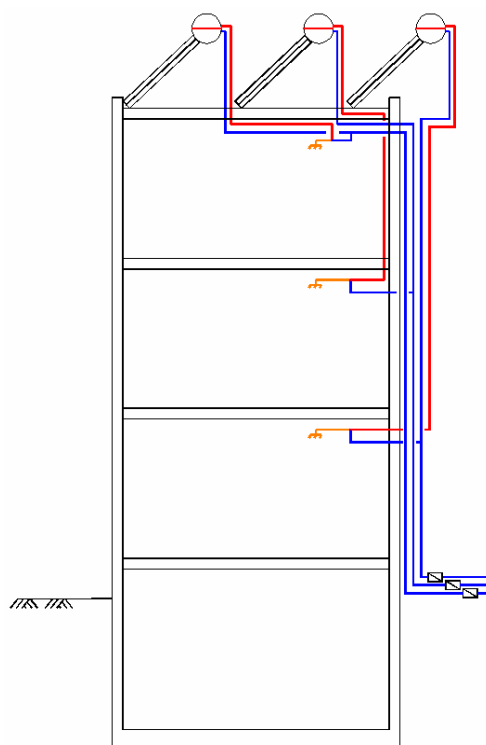


Figura 25 - Sistema solar individual

Quadro 5 - Vantagens e desvantagens função do tipo de integração dos sistemas em edificações

	Vantagens	Desvantagens
Sistema solar colectivo totalmente centralizado	<ul style="list-style-type: none"> - maior aproveitamento dos colectores solares - redução do número de colectores necessário - melhor adequação nas épocas de menor utilização - menor custo em relação às restantes opções de circulação forçada 	<ul style="list-style-type: none"> - distribuição de água quente a uma temperatura pré-definida - existência de contadores individuais de água quente - requer electrobomba de circulação - grande percentagem da instalação é comum às fracções - menor autonomia em relação às restantes opções de circulação forçada
Sistema solar colectivo centralizado com apoios individuais	<ul style="list-style-type: none"> - maior aproveitamento dos colectores solares - redução do número de colectores necessário - melhor adequação nas épocas de menor utilização - definição da temperatura de água quente 	<ul style="list-style-type: none"> - existência de contadores individuais de água quente - requer electrobomba de circulação - aumento dos custos de instalação - percentagem média da instalação é comum às fracções
Sistema solar colectivo de colectores centralizado	<ul style="list-style-type: none"> - maior aproveitamento dos colectores colectores solares - redução do número de colectores necessário - definição da temperatura de água quente - definição do volume do depósito de acumulação - elevada autonomia em relação às restantes fracções 	<ul style="list-style-type: none"> - custo superior em relação a um sistema de circulação natural - existência de contadores individuais de água quente - requer electrobomba de circulação - maior custo em relação às restantes soluções de circulação forçada - necessária zona técnica dentro da fracção
Sistema solar totalmente individual	<ul style="list-style-type: none"> - cada utilizador dispõe dos seus próprios colectores solares e dos correspondentes depósitos de acumulação - simples e de baixo custo 	<ul style="list-style-type: none"> - limitações de altura - maior número de acessórios necessários com o aumento da altura de instalação em relação aos centros de consumo - não faculta a regulação da temperatura do depósito - limitado em termos de dimensão do sistema

2.3 CERTIFICAÇÃO DE COLECTORES E MERCADO

2.3.1 NORMALIZAÇÃO E CERTIFICAÇÃO

Em Julho de 2003 foi criado em Portugal um laboratório acreditado de testes de colectores solares, designado por Laboratório de Ensaio de Colectores Solares (LECS) no INETI, de apoio à indústria no

intuito de incremento na melhoria da qualidade dos equipamentos. Ao longo destes últimos 15 anos, o INETI participou em todo o trabalho de normalização que foi efectuado em Portugal e na CEN e ISO.

Presentemente, em Portugal, somente o LECS está acreditado para efectuar os ensaios de suporte à certificação de colectores solares térmicos.

As normas CEN, constituídas pelas EN 12976-1, EN 12976-2, EN 12975-1 e EN 12975-2 são no momento as normas portuguesas em vigor, e desde 2003 estão na base do esquema português de certificação de colectores solares e sistema de fabrico. O esquema de certificação português é similar ao esquema europeu Solar Keymark, desenvolvido com a participação do LECS [24] [25].

A definição destes esquemas de certificação é o resultado de um acordo entre os principais parceiros - público e entidades privadas - actantes no mercado solar português, os quais são encorajados a desenvolver trabalho que dê suporte ao programa AQSpP. De facto, somente colectores certificados, bem como instaladores acreditados podem concorrer aos incentivos e subsídios no anteriormente mencionado programa PRIME/MAPE.

Um colector solar térmico deve ser capaz de resistir às condições ambientais do local de implantação e de utilização adversas, como por exemplo, longos períodos em estagnação. Por estagnação, entende-se períodos em que se atingem temperaturas elevadas, sendo em seguida sujeito a choques térmicos devido à ocorrência de chuva. Os ensaios realizados aquando da certificação de um colector têm por objectivo verificar a resistência às referidas condições adversas.

O sistema de certificação compreende a realização de ensaios de Concessão e Inspeção da produção, visando a certificação tanto de colectores solares térmicos, como dos sistemas em termosifão.

Os utilizadores destes equipamentos devem seleccionar, de entre os colectores certificados, apenas aqueles que correspondem a equipamento que foi ensaiado em laboratório acreditado, cuja continuada qualidade de produção é assegurada por ensaios periódicos de unidades seleccionadas aleatoriamente pelo CERTIF, entidade integrada no sistema português de qualidade.

A certificação é um processo que permite dar uma maior garantia ao utilizador final, dado que o produto certificado apresenta características de qualidade comprovadas, relativamente a produtos não certificados.

Os equipamentos deverão estar certificados de acordo com as normas europeias EN 12975-1/2 e EN 12976-1/2.

Quadro 6 - Normas europeias aplicáveis a sistemas solares

	Colectores solares térmicos	Sistemas solares compactos em termosifão
Norma de Requisito de Produto	EN 12975-1 de 2000	EN 12976-1 de 2000
Norma de Ensaio de Produto	EN 12975-2 de 2001	EN 12976-2 de 2001

O sistema de certificação nacional compreende duas partes:

- realização de ensaios de concessão em laboratório acreditado (acordo entre a entidade certificadora e o fabricante). Em Portugal são efectuados pelo LECS do INETI;
- auditoria e inspeção da produção, efectuada pela entidade certificadora.

O processo de certificação compreende as seguintes fases:

- pedido de certificação efectuado pelo fabricante;
- a entidade certificadora avalia o pedido, define os ensaios a efectuar ao produto e destaca uma equipa encarregue da auditoria;
- realização dos ensaios em laboratório;
- a equipa produz relatório da auditoria ao sistema de qualidade implementado pelo fabricante e produz o relatório;
- o CERTIF analisa os dados dos ensaios e da auditoria;
- se a avaliação é positiva, o CERTIF concede a licença. Se não, retoma ao ponto de ensaios e auditoria em diante;
- anualmente o CERTIF efectua ensaios dos produtos e auditorias às fábricas. Os produtos certificados são seleccionados na fábrica e/ou nos pontos de venda e as auditorias efectuadas ao sistema de qualidade implementado e/ou inspecções ao processo de controlo do fabrico.

A CERTIF, no âmbito das actividades de certificação, concede várias Marcas de Conformidade, aplicáveis a produtos, serviços e sistemas de gestão.

As Marcas de Conformidade podem ser Marcas Próprias ou Marcas Comuns, as quais são concedidas de acordo com as Regras Gerais de Certificação definidas em acordos europeus de reconhecimento, dos quais a CERTIF é membro. Das Marcas Comuns, destacamos a Keymark. É concedida pela CERTIF para electrodomésticos e produtos solares térmicos, os quais estão abrangidos por normas europeias.

Por Marca de Conformidade - marca CERTIF - entende-se toda a marca registada e protegida legalmente contra qualquer uso indevido, que é concedida por um organismo que efectua a avaliação da conformidade por terceira parte, indicando que um objecto submetido à avaliação da conformidade está de acordo com os requisitos especificados. Esta marca é atribuída a todos os produtos certificados no âmbito do sistema 5 da ISO / IEC.

A certificação no produto é garantida de dois modos. Pela aposição da marca (figura 26) e do respectivo número de licença no produto e pelo certificado, onde em anexo contém os resultados dos ensaios de concessão do produto, entre outros, dos valores característicos do comportamento térmico do colectador ou sistema.



Figura 26 - Símbolo de produto certificado nacional [24]

A Keymark, a marca europeia do CEN/CENELEC é uma marca de certificação que verifica a conformidade dos produtos com as normas europeias e é concedida no âmbito do European Mark Scheme (SEM-01) (figura 27).

É a primeira marca de qualidade reconhecida internacionalmente para os produtos solares térmicos. Tem por bases os seguintes pontos:

- ensaios iniciais de acordo com a EN 12975 ou EN 12976;
- sistema de gestão da qualidade implementado;
- revisão anual do sistema de gestão da qualidade e inspecção bianual ao produto.

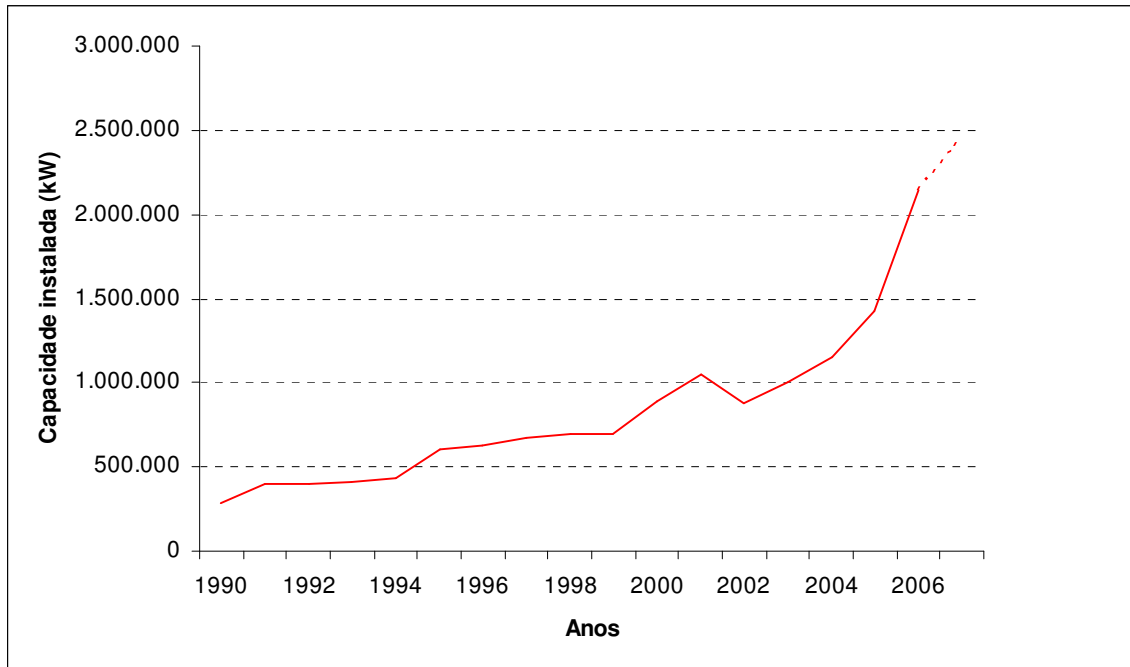
A Solar Keymark é uma certificação voluntária de terceira parte [15]. Mediante a obtenção da Solar Keymark, o produto solar fica qualificado para a regulamentação de quase todos os estados membros e esquemas de incentivo financeiro.



Figura 27 - Símbolo de produto certificado europeu [28]

2.3.2 O MERCADO INTERNACIONAL

O mercado solar térmico europeu dos 27, incluindo a Suíça (figura 28), teve um crescimento de 47 % em 2006 em comparação com ano transacto, excedendo as expectativas, atingindo a capacidade de 2,1 GW para as novas instalações, correspondendo a cerca de 3 milhões de m² de área de colectores. A capacidade total em funcionamento em 2006 atingia um valor de 13,5 GW, produzindo uma quantidade de energia solar térmica para aquecimento e arrefecimento equivalente a cerca de 800.000 toneladas de petróleo.



Obs. A relação entre área de colector e capacidade é de $1 \text{ m}^2 = 0.7 \text{ kW}$.

Figura 28 - Desenvolvimento anual do mercado interno solar térmico na UE 27 + Suíça

Vários factores contribuíram para este bom resultado, entre eles o aumento dos apoios estatais em vários países, a dramática subida dos preços do petróleo e do gás, o corte de fornecimento de gás por parte da Rússia em Janeiro de 2006 e as visíveis alterações climáticas [11].

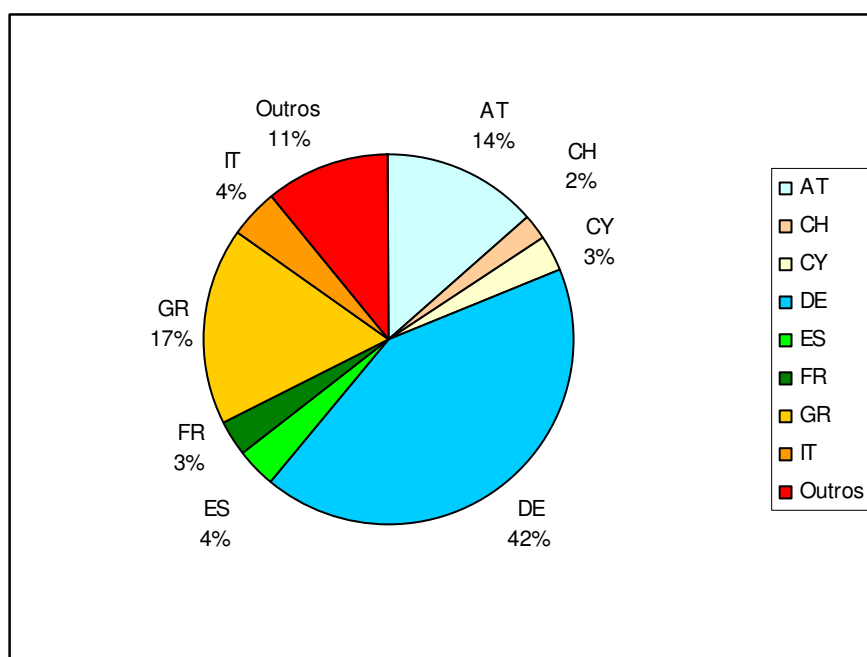
As primeiras previsões para 2007 indiciam um crescimento mais moderado, na ordem dos 17 %, sendo a dimensão do mercado europeu, em termos de área de colector, a seguinte:

Quadro 7 - Dimensão do mercado da UE 27 + Suíça em termos de área de colector [14]

País	Área de colector			
	2006		2005/2006	2007
	Em funcionamento	Novas instalações	Evolução do mercado	Estimativa
	m ²	m ²	%	m ²
Áustria (AT)	2.611.627	292.669	25	350.000
Bélgica (BE)	104.118	35.636	76	45.000
Bulgária (BG)	25.100	2.200	10	2.500
Suíça (CH)	443.548	51.863	33	65.000
Chipre (CY)	560.200	60.000	20	70.000
República Checa (CZ)	106.730	22.030	42	30.000
Alemanha (DE)	8.054.000	1.500.000	58	1.500.000
Dinamarca (DK)	362.280	25.300	19	32.000
Estónia (EE)	1.120	300	20	400
Espanha (ES)	702.166	175.000	64	325.000
Finlândia (FI)	16.493	3.400	43	4.500
França (FR)	615.600	220.000	81	275.000
Grécia (GR)	3.287.200	240.000	9	300.000
Hungria (HU)	6.250	1.000	0	1.200
Irlanda (IE)	15.790	5.000	43	10.000
Itália (IT)	855.230	186.000	46	285.000
Lituânia (LT)	2.750	600	20	1.000
Luxemburgo (LU)	15.900	2.500	32	2.900
Letónia (LV)	3.850	1.200	20	1.800
Malta (MT)	23.860	4.500	13	5.500
Holanda (NL)	318.441	14.685	-27	18.000
Polónia (PL)	167.520	41.400	49	52.000
Portugal (PT)	180.950	20.000	25	24.000
Roménia (RO)	69.100	400	0	500
Suécia (SE)	236.929	28.539	26	34.000
Eslovénia (SI)	109.300	6.900	44	10.000
Eslováquia (SK)	72.750	8.500	13	12.000
Reino Unido (UK)	250.920	54.000	93	70.000
UE 27 + CH	19.219.722	3.003.622	47	3.527.300

Obs. Engloba os colectores planos com cobertura e tubos de vácuo.

As percentagens do mercado europeu solar estão definidas na figura 29.



Obs. Portugal está englobado em Outros com uma percentagem de 0,94 %.

Figura 29 - Percentagem do mercado da UE 27 + Suíça em 2006

O aquecimento de águas quentes sanitárias mediante sistemas solares térmicos presentemente é uma tecnologia madura e, em 2006, existiam já instalados na UE dos 27 mais a Suíça cerca de 19,2 milhões de m² de colectores. Destes, cerca de 70 % da área implantada encontra-se concentrada em três países, na Alemanha (com mais de 40 % das vendas de colectores solares da UE), na Grécia e na Áustria. A Alemanha, apesar de uma média anual de horas de Sol inferior a 55 % em relação a Portugal, lidera o mercado europeu em termos de área de colectores instalada.

Se compararmos em termos de m² de colector e energia solar por habitante (quadro 8), surge o Chipre como líder mundial com 0,79 m² e 554 W. A Áustria, apesar de uma média anual de horas de Sol inferior a cerca de 55 % em relação a Portugal, está numa posição imediatamente a seguir a Chipre, com 0,35 m² e 248 W por habitante, seguida pela Grécia com 0,33 m² e 231 W por habitante, dados referentes ao final do ano de 2006.

Em posição oposta, surge Portugal que apresenta uma média de 0,02 m² e de 13 W por habitante. Será de sublinhar que a Grécia e Portugal partilham inúmeras semelhanças entre eles, radiação solar, população e etc., mas a diferença de m² de colector por habitante é enorme, cerca de 94 %. A média da UE e Suíça é de 27 W por habitante (2006).

Apresenta-se quadro com a área de colector e de energia solar por habitante referente aos países representados na figura 29, incluindo Portugal, em finais de 2006.

Quadro 8 - Área de colector e de energia solar por habitante em finais de 2006

País	População	Área de colector em funcionamento	Área de colector por habitante	Energia solar por habitante
	Hab.	m ²	m ²	W
Chipre (CY)	784.301	620.200	0,79	554
Áustria (AT)	8.192.880	2.904.296	0,35	248
Grécia (GR)	10.688.058	3.527.200	0,33	231
Alemanha (DE)	82.422.299	9.554.000	0,12	81
Suíça (CH)	7.523.934	495.411	0,07	46
Espanha (ES)	40.397.842	877.166	0,02	15
Portugal (PT)	10.605.870	200.950	0,02	13
Itália (IT)	58.133.509	1.041.230	0,02	13
França (FR)	60.876.136	835.600	0,01	10

A distribuição percentual em 2006 a nível mundial dos sistemas solares térmicos em funcionamento, de acordo com o tipo de colector, é a seguinte:

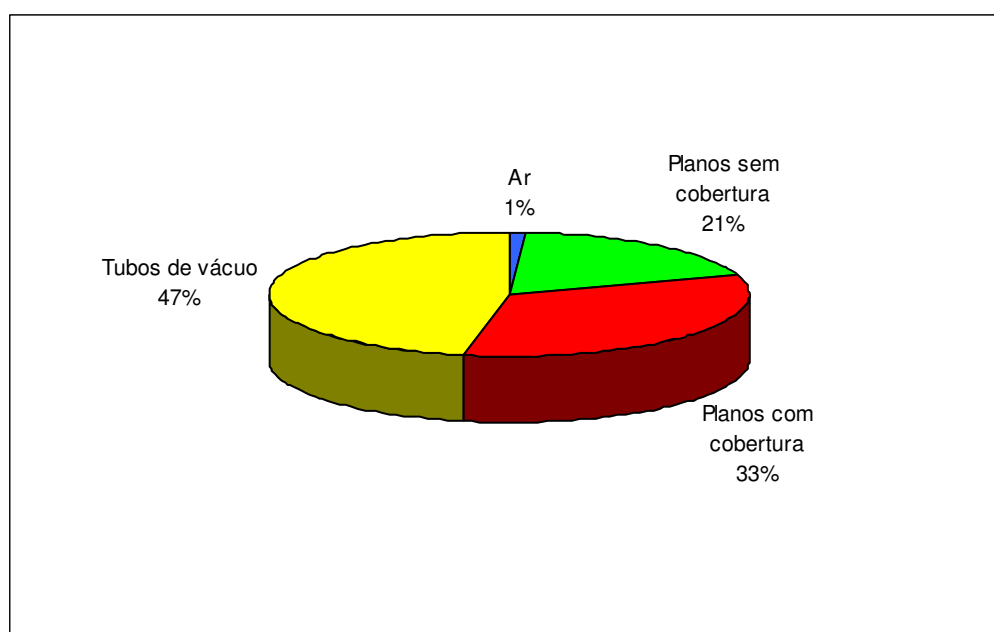


Figura 30 - Distribuição a nível mundial da capacidade instalada em 2006 por tipo de colector [22]

A elevada percentagem na distribuição a nível mundial de tubos de vácuo (47 %) é devida ao contributo da China, país a nível mundial com a maior capacidade instalada em funcionamento (em 2006). Na China, a distribuição de colectores é de cerca de 90 % para os colectores de tubo de vácuo e

de 10 % para os colectores planos. No sentido contrário estão os Estados Unidos da América, vice-líderes a nível mundial (em termos de capacidade total de MW instalada em funcionamento), que utilizam maioritariamente colectores em plástico sem cobertura.

A distribuição do tipo de sistemas solares térmicos utilizados pelos países com maior área instalada é a seguinte:

Quadro 9 - Distribuição dos sistemas pelos países com maior área instalada [22]

	Sistema	Área de colector (m ²)	Volume de acumulação (litros)	Consumo de água (l/dia a 60 °C)
Unifamiliares	Termosifão	2,5 a 6	150 a 300	150
Multifamiliares	Circulação forçada	50	2.500	2.000

Nos sistemas de colectores solares térmicos para habitações unifamiliares a variação da área de colector e do volume de acumulação é devido aos países com radiações solares diferentes, por exemplo da Grécia à Alemanha/Áustria. Portugal pauta-se pela média destes valores, com 4 m² de área de colector, 200 litros de volume de acumulação e um consumo de água de 150 l/dia.

2.3.3 DESENVOLVIMENTO DO MERCADO NACIONAL

A figura abaixo (figura 31) é referente aos dados disponíveis do desenvolvimento no mercado em Portugal de sistemas solares térmicos referentes a colectores planos com cobertura, dizendo respeito ao período de 1982 a 2007 [8]. No período de 1994 a 1998 não se vislumbraram dados disponíveis.

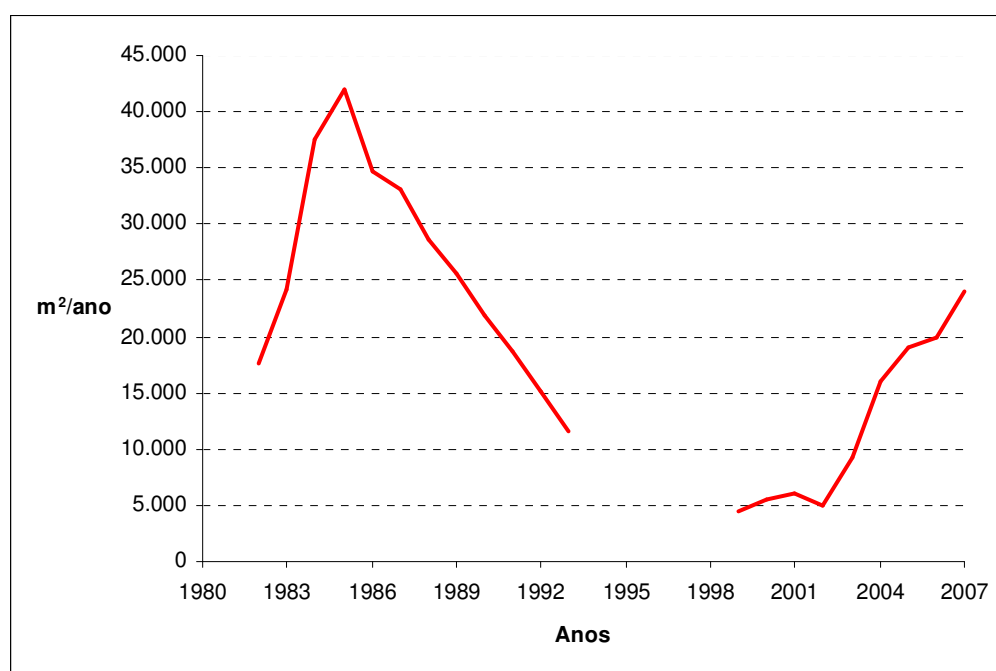


Figura 31 - Áreas de implantação anuais em território nacional

O decréscimo verificado a partir de meados dos anos oitenta é derivado do sentimento negativo que se verificou junto dos utilizadores devido a uma grande quantidade de instalações deficientemente concebidas e instaladas, equipamentos de qualidade inferior e de baixo rendimento, sistemas sem a devida manutenção periódica necessária, falta de instaladores qualificados e sub-capitalização de muitas das pequenas empresas que operavam na área dos sistemas solares térmicos.

Em Portugal existem em funcionamento cerca de 230.950 m² (ano de 2007).

As aplicações, de acordo com os segmentos de mercado, são as seguintes:

- produção de água quente doméstica: 66.5 % (termosifão e poucos sistemas de circulação forçada);
- grandes sistemas solares colectivos: 16.5 % (sistemas de circulação forçada, utilizados em hotéis, instalações desportivas, hospitais, indústria, etc.);
- ar condicionado e aquecimento de processo industrial: 15 % (sistemas de circulação forçada);
- aquecimento de espaços: 0.05 %, valor residual (sistemas de circulação forçada);
- piscinas: 2 % (sistemas de circulação forçada).

O que se traduz numa distribuição de aproximadamente 2/3 no sector doméstico, sistemas de pequena dimensão, e de 1/3 em sistemas de grandes dimensões.

A nível regional salienta-se a iniciativa da Agência de Energia do Porto (AdEPorto) [3]. No Porto o consumo energético é dominado pela electricidade, representando em termos de energia primária cerca de 52 %, com uma baixa penetração do gás natural, na ordem dos 6 %.

A percentagem de utilização de electricidade como energia primária no Porto é superior à média nacional, a qual é de cerca 44 %, sendo esta diferença justificada pela herança histórica que o Porto usufruiu em relação ao tarifário eléctrico, devido à inexistência de outras alternativas de energia em distribuição por rede.

Entre a energia primária, ou seja, petróleo, gás natural, hídrica, eólica, solar, biomassa e similares, e a energia final há uma sequência de conversões e transportes, com tempos e impactos ambientais diferentes. Deste modo, é possível conhecer em 2004 a repartição a nível energético nacional, a qual foi de 87 % de energia primária de origem fóssil e de 13 % de origem renovável.

No Porto, no sector residencial, cerca de 71 % da energia primária é utilizada na produção de calor, ou seja, 24 % no aquecimento de água sanitária, 24 % na preparação de refeições e 23 % no aquecimento ambiente (o aquecimento ambiente é parcialmente suprido pelo uso da queima de lenha). De referir que o frio doméstico representa 14 % de energia primária (figura 32).

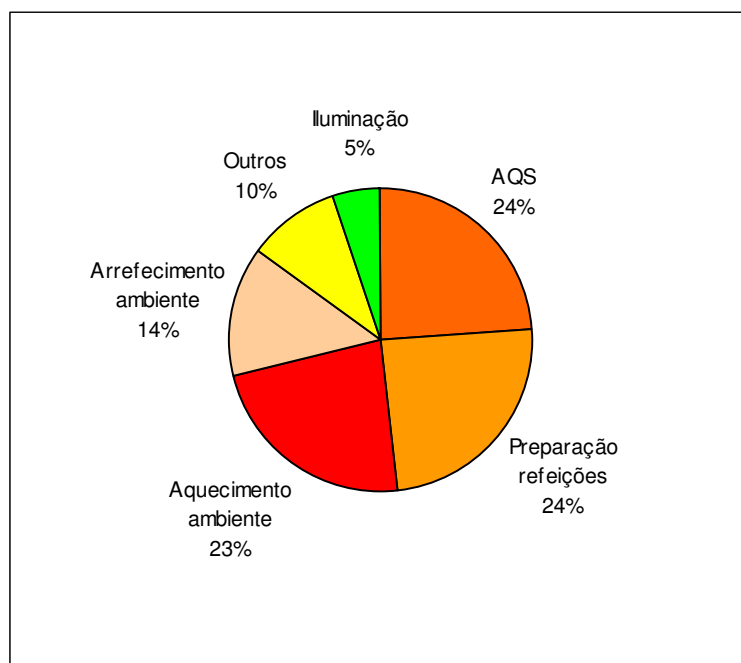
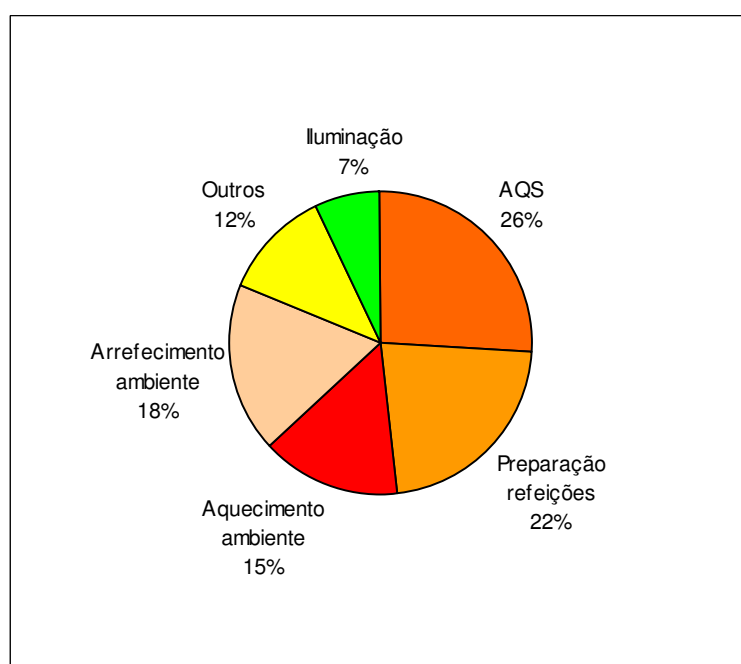


Figura 32 - Repartição de energia no subsector residencial do Porto

Em termos de emissões de CO₂ no Porto a repartição é a seguinte:

Figura 33 - Repartição de emissões de CO₂ associadas ao uso no subsector residencial do Porto

Dada a forte dependência do Porto relativamente à electricidade, uma das recomendações da AdEPorto é a prioridade para o uso da energia solar térmica e, subsequentemente, o gás natural. Um dos objectivos é a implementação de painéis solares térmicos em habitação social.

3

QUANTIFICAÇÃO DE DESEMPENHO

3.1 CONSIDERAÇÕES PRÉVIAS

É importante a consciencialização de que a energia solar é gratuita e a convencional não. O consumo energético deve realizar-se prioritariamente com a primeira e só recorrer à energia de apoio quando a energia solar não for suficiente. O sistema de armazenamento deverá garantir prioritariamente o uso de energia solar face à energia convencional.

A legislação define que a contribuição de sistemas solares só poderá ser contabilizada para efeitos legais se os sistemas ou equipamentos forem certificados, de acordo com as normas e legislação em vigor, forem instalados por instaladores acreditados pela DGEG, e cumulativamente, a garantia da existência de manutenção do sistema em funcionamento eficaz por um período mínimo de 6 anos após a sua instalação.

Em geral, os equipamentos solares não garantem a totalidade do consumo energético, sendo por isso necessário o apoio de uma instalação convencional, que assegure as necessidades energéticas não cobertas pelo sistema solar.

Contrariamente ao critério de dimensionamento seguido para os equipamentos convencionais, os sistemas solares não se dimensionam para as condições extremas (Inverno, baixa radiação solar) de certos dias do ano, mas sim para as necessidades energéticas médias anuais, de acordo com o programa de cálculo definido no RCCTE. Para este tipo de equipamentos, não se considera a ponta máxima previsível de consumo energético, mas o balanço médio anual.

Uma instalação de água quente solar, apesar de devidamente dimensionada, poderá não cumprir na íntegra o objectivo de abranger as necessidades energéticas na percentagem prevista, dada a eventualidade de se utilizarem dados de dimensionamento que não correspondam à realidade de consumo.

O sistema solar é dimensionado normalmente para proporcionar uma cobertura anual de cerca de 60 a 80 % das necessidades de aquecimento de água. Os restantes 20 % a 40 % têm de ser fornecidos por um sistema de apoio do tipo convencional.

É fundamental o conhecimento prévio exacto das necessidades energéticas, função dos consumos previstos para os futuros utilizadores da instalação. Igualmente importante a distribuição temporal dos consumos, factor de simultaneidade, etc.

No caso de habitações, é necessário considerar-se o índice de ocupação, dado que em virtude da época do ano, o número de pessoas pode variar. Há que considerar-se que os meses de Julho e Agosto são por regra meses de férias, com a correspondente ausência da habitação habitual. O número de pessoas,

desconhecendo-se o número real, deverá estimar-se considerando a relação anteriormente referenciada - ver ponto 2.2.8.

Há outro aspecto a ter em consideração que é a altura do ano em que ocorre o consumo. O consumo real de água quente por pessoa nos meses de Verão é menor em relação aos restantes meses, nomeadamente por duas razões: consome-se água a uma temperatura inferior à de Inverno e em muitas localidades a pressão da rede pública diminui, provocando uma diminuição de caudal.

Na falta de valores exactos para a instalação, deverão ser considerados valores médios para os consumos diários. O consumo doméstico varia entre os 40 a 70 litros/hab.dia de água quente a 45 °C. Em média, dimensiona-se para 50 litros, valor ligeiramente superior ao definido no RCCTE, que refere um valor de 40 litros.

Uma vez definidos os consumos de água quente ao longo dos doze meses do ano, é possível a elaboração de um mapa de consumo. Este mapa reflecte a carga térmica que a instalação deverá fornecer, isto é, o consumo energético, que neste caso será directamente proporcional ao consumo volumétrico.

Se por hipótese consideramos que a temperatura de água misturada para consumo é na ordem dos 45 °C e considerando que a temperatura da água à entrada da habitação é muito inferior, um dimensionamento simples permitirá definir a quantidade de energia necessária para se atingir o volume de água quente necessária à temperatura de 45 °C.

A quantidade de calor absorvida por um corpo para passar de uma temperatura inicial (t_i) a outra temperatura final (t_f) é dada pela expressão [17]:

$$Q = m * C_p * (t_f - t_i).$$

sendo,

m - massa em gramas;

C_p - calor específico do corpo (neste caso da água).

É importante ter a noção que uma caloria é a quantidade de energia necessária para elevar em 1 °C a temperatura de um grama de água.

A temperatura de utilização da água tem de ser apropriada à utilização pretendida, sendo do máximo interesse que seja o mais baixa possível. Por exemplo, se a utilização for banhos, temperatura entre os 36 a 40 °C, é conveniente que o sistema esteja dimensionado para os 45 a 50 °C.

Para temperatura de referência deve considerar-se sempre os 45 °C, apesar de as instalações que utilizem energias convencionais para aquecimento de água sanitária facultem temperaturas mais elevadas, o que não é necessário na maior parte das situações.

3.2 MODELO DE CÁLCULO DO RCCTE - SOLTERM

O dimensionamento da superfície de captação, de acordo com o definido no articulado do RCCTE, deverá efectuar-se com o programa Solterm, desenvolvido pelo INETI [16].

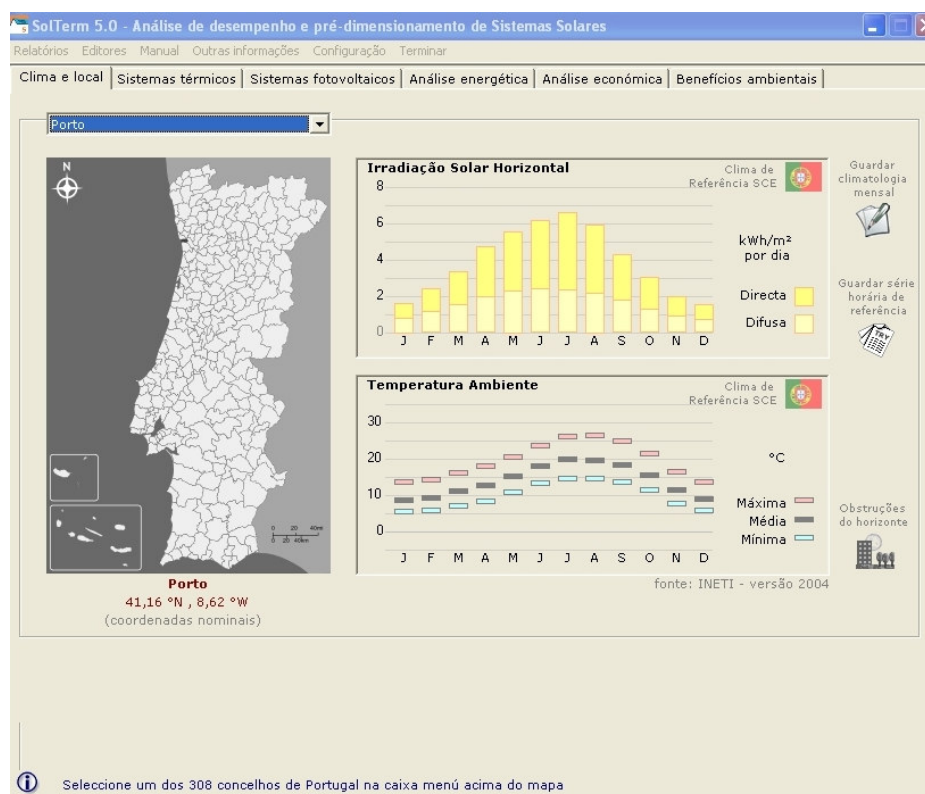


Figura 34 - Apresentação do menu clima e local do programa Solterm

O Solterm é um programa interactivo de análise do desempenho de sistemas solares térmicos e fotovoltaicos.

O programa contém uma base de dados climáticos da radiação solar e temperatura para Portugal (figura 34). De uma forma objectiva, o programa apresenta o ano meteorológico de referência para o concelho do país seleccionado.

Este programa permite diversas configurações do sistema solar, ajustáveis em detalhe pelo utilizador, no tocante a colectores, permutadores, depósitos, sistemas de apoio e características do consumo. O programa estima o desempenho dos sistemas recorrendo a simulações numéricas detalhadas, em intervalos de tempo de 10 minutos, ou em certos casos, com base no conceito estatístico de utilização da energia da radiação solar.

A estrutura do programa faculta uma análise económica do investimento no sistema solar, em relação à situação de uso exclusivo de fontes energéticas fósseis. Na análise de desempenho térmico é possível reiterar o dimensionamento pelo utilizador, de modo a permitir uma convergência no correcto dimensionamento do sistema solar. No entanto, o programa descrito permite a efectivação da optimização automática de alguns parâmetros, com base em critérios económicos.

Permite igualmente uma análise ambiental mediante a estimativa das emissões de gases com efeito de estufa evitados pelo uso de sistemas solares, tendo por base critérios nacionais do uso de energia para o primeiro período de cumprimento do Protocolo de Quioto, 2008-2012.

O programa produz relatórios de climatologia, de análise de desempenho energético e de análise económica.

Como resultado é possível obter a previsão das performances num ano médio.

Para a selecção da área de colectores a instalar devemos ter em consideração os seguintes três critérios:

- área disponível: espaço disponível sem sombras;
- área energética: selecciona-se a máxima área que não provoca desperdícios;
- área económica: determina-se a área que maximiza o VAL (valor actualizado líquido).

Se a área do óptimo económico originar desperdícios, devemos ficar pelo óptimo energético.

Se a área do óptimo energético for superior ao óptimo económico, devemos escolher o óptimo económico, mas deixando tudo preparado para uma possível expansão, dado o cenário económico poder alterar-se.

No âmbito do presente trabalho foi elaborada uma folha de cálculo no formato Excel em complemento ao Solterm, a qual permite efectuar o dimensionamento de um sistema solar térmico, cuja aplicabilidade será apresentada.

3.3 IMPORTÂNCIA DA FRACÇÃO SOLAR

A fracção solar por definição é a fracção do consumo energético que é satisfeita pela energia solar, e se traduz no quociente percentual entre a energia solar e as necessidades energéticas.

Segundo o programa Solterm, a energia fornecida corresponde à energia solar (Esolar) e a carga às necessidades energéticas.

Nas figuras seguintes (figuras 35, 36 e 37) apresentam-se as fracções solares mensais e o valor médio anual para um sistema solar térmico tipo no Porto, Lisboa e Faro.

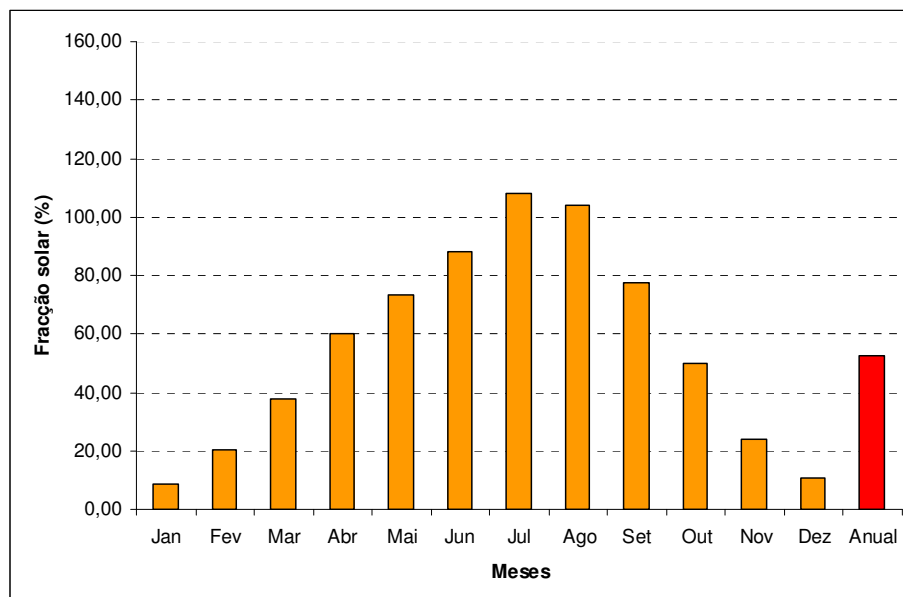


Figura 35 - Fracção solar para o Porto

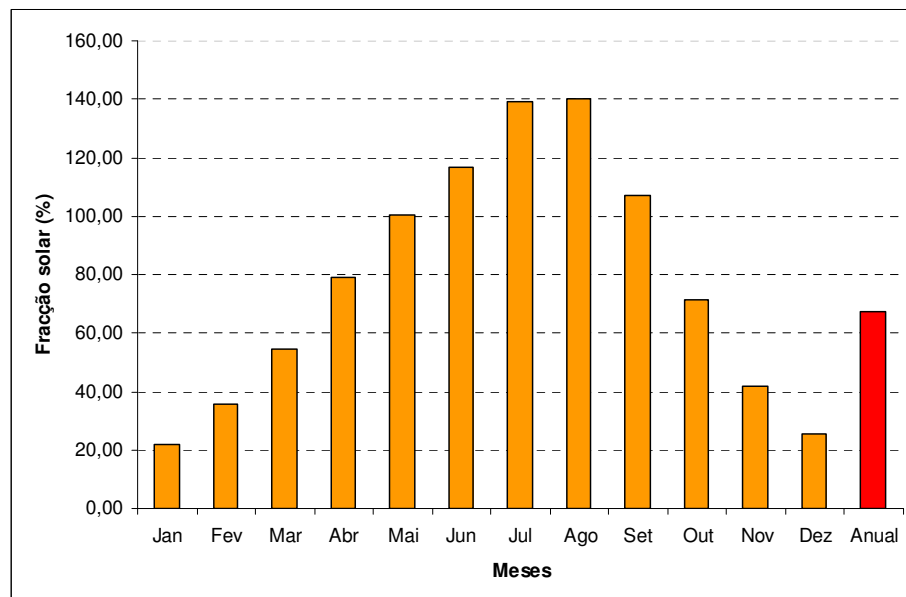


Figura 36 - Fracção solar para Lisboa

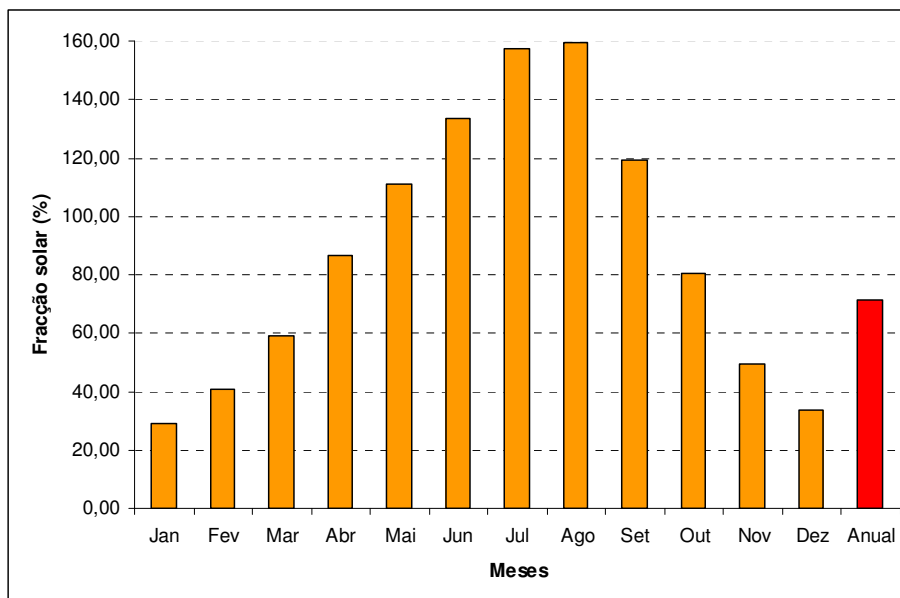


Figura 37 - Fracção solar para Faro

A consideração de uma fracção solar na ordem dos 100 % durante os meses de maior disponibilidade de radiação, desde Junho até Agosto, permite a disponibilidade de uma fracção solar anual na ordem dos 60 % a 80 %, dentro do intervalo óptimo técnico-económico [20]. O objectivo deverá ser o de garantir uma fracção solar de 100 % para o mês de Julho. De referir que percentagens de fracção solar mensal superiores a 100 % correspondem a desperdícios de energia solar.

Um aumento na fracção, por exemplo através do aumento da superfície de colectores, conduz a um excesso de energia disponível para os meses de Verão. Nesse caso, não só haveria uma resistência térmica elevada nos colectores (estagnação), mas também uma baixa eficiência do sistema (custos adicionais mais elevados do que a produção adicional) (figura 38).

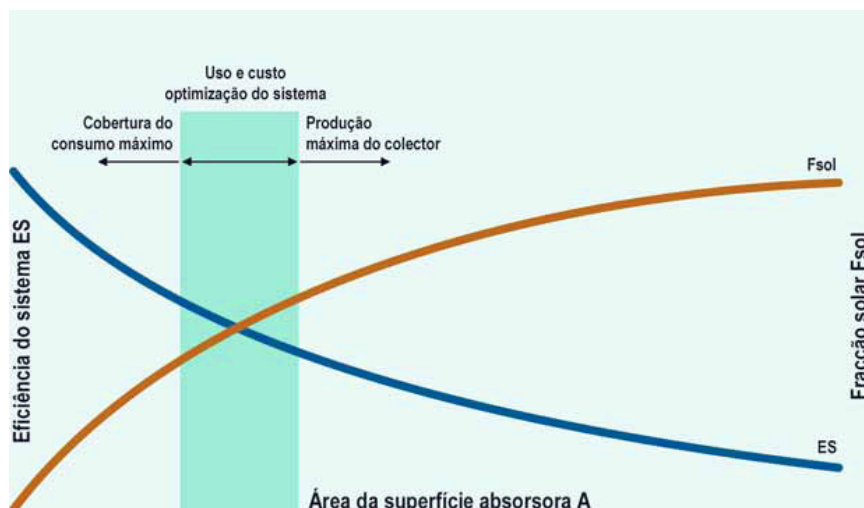


Figura 38 - Fracção solar e eficiência do sistema [15]

A fracção solar é um dos principais índices de avaliação do desempenho em sistemas solares térmicos. Usualmente o objectivo é atingir um valor anual na faixa dos 40 % a 90 %. Abaixo deste valor (40 %) o sistema estará em geral subdimensionado e acima deste valor (90 %) o sistema está frequentemente sobredimensionado.

3.4 SOMBREAMENTOS

No dia mais desfavorável do período de utilização o equipamento não deve ter mais de 30 % da superfície útil de captação coberta por sombras, durante mais de 1 hora.

Frequentemente é necessário colocar colectores solares em zonas não totalmente isentas de sombras. Em todo o caso, é conveniente conhecer as sombras de uma fila de colectores sobre a fila seguinte para evitar estas situações. Se representarmos a altura solar em função do seu azimute - a trajectória solar (variação das coordenadas do Sol ao longo do dia), obtemos os denominados mapas de trajectória solar, como é o caso das projecções estereográficas (figura 39), ferramenta muito útil para conhecer as sombras projectadas pelos obstáculos a qualquer hora do dia.

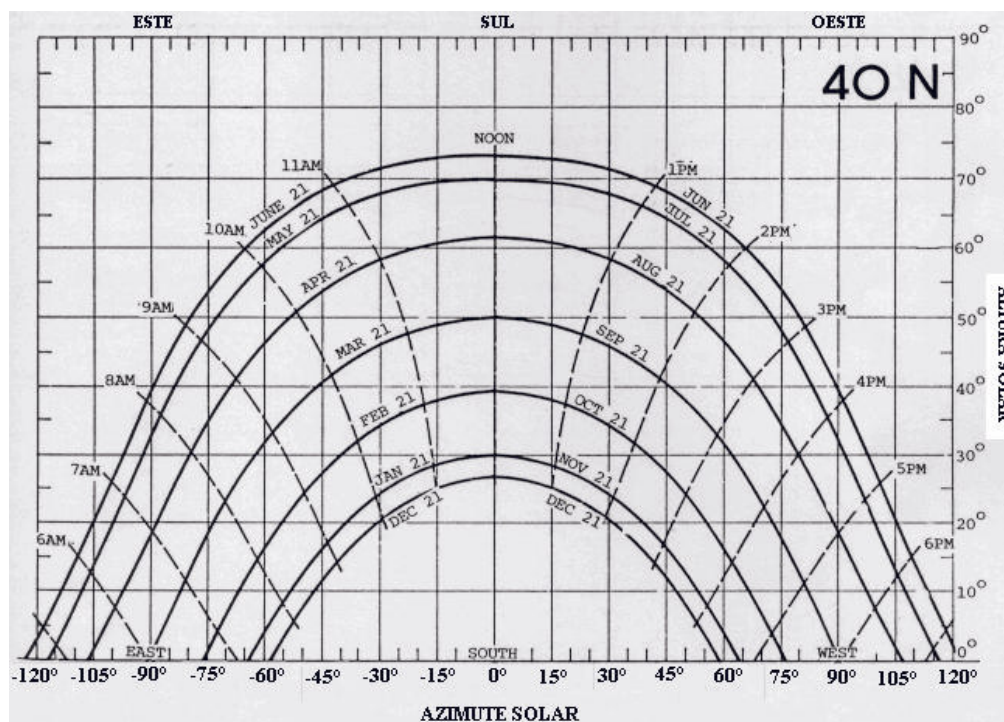
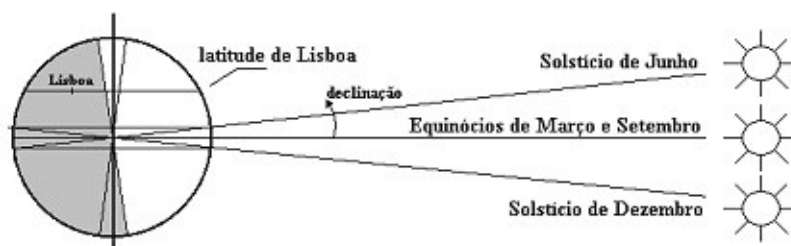


Figura 39 - Projecção estereográfica cilíndrica para uma latitude de 40° N [23]

De acordo com a média anual, a radiação óptima encontra-se no alinhamento com a meridional ($\alpha = 0^\circ$) e uma inclinação $\beta = 30^\circ$. É claro que os valores mais elevados de radiação, cerca de 70 % (1.300 kWh/m^2), estão disponíveis no semestre de Verão (Abril a Setembro). A figura 40 também mostra que um desvio do alinhamento óptimo pode ser tolerado para uma larga faixa de valores, já que não existem perdas significativas de radiação. O ângulo de inclinação óptimo para o semestre de Inverno (Outubro a Março) é da ordem dos 50° , mas desvios à direcção de alinhamento Sul podem provocar perdas de radiação muito rápidas.

Durante os equinócios da Primavera (21 de Março) e do Outono (22 de Setembro), os dias são iguais às noites porque a declinação solar é nula. O Sol nasce a Este e põe-se a Oeste (figura 40).

Durante o solstício de Verão (23 de Junho) a declinação solar é de $23^{\circ} 27'$, e a duração do dia é maior que a da noite e o Sol, encontrando-se sobre o trópico de Câncer, nasce quase a Nordeste e põe-se quase a Noroeste. No solstício de Inverno (22 de Dezembro), a declinação é igual mas de valor negativo, o Sol encontra-se sobre o trópico de Capricórnio e a duração do dia é inferior à da noite



Obs. O dia e a noite no solstício de Junho.

Figura 40 - Equinócios e solstícios [25]

Pequenos desvios do posicionamento óptimo não introduzem grandes penalizações na energia útil fornecida pelo sistema solar. A diminuição de energia disponível num absorvedor posicionado de modo diferente ao óptimo é traduzida pelas curvas de penalização. O traçado das curvas depende da latitude do local e do perfil de utilização.

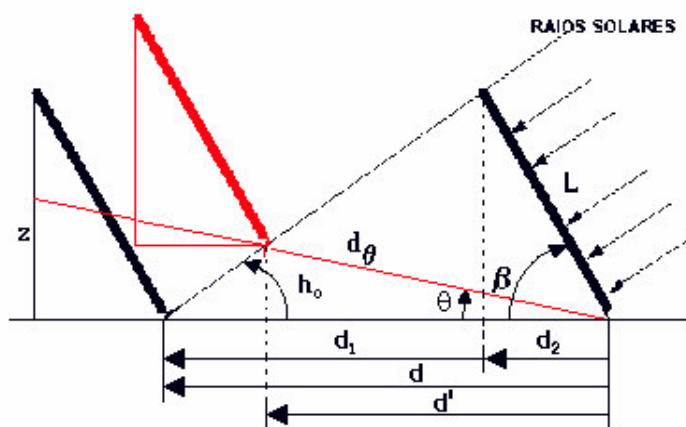


Figura 41 - Distância de não sombreamento [17]

A determinação de sombras projectadas sobre colectores por parte de obstáculos próximos efectua-se na prática observando ao redor desde o ponto médio da aresta inferior do colector, tomando como referência a linha Norte - Sul (figura 41). A separação entre linhas de colectores estabelece-se de tal forma que às 12.00 horas solares do dia mais desfavorável (altura solar mínima no solstício de Dezembro) a sombra da aresta superior duma fila tem que projectar-se, no máximo, sobre a aresta inferior da fila seguinte. Em equipamentos que se utilizem durante o ano todo (para AQS), o dia mais desfavorável corresponde a 21 de Dezembro. Neste dia, a altura mínima do sol às 12.00 h solares tem o seguinte valor [4] [10]:

$$h_0 = (90^{\circ} - \text{Latitude do lugar}) - 23,5^{\circ}$$

Na figura 41 vemos que a distância mínima d entre filas de colectores é:

$$d = d_1 + d_2 = z / \tan h_0 + z / \tan \beta = L * (\sin \beta / \tan h_0 + \cos \beta)$$

Em Dezembro e na primeira metade de Janeiro, mesmo respeitando esta distância, podem produzir-se sombras das filas de colectores sobre as posteriores, no início e no fim do dia, o que não é grave.

No caso de não existir problema de espaço, é recomendável aumentar em 25 % a distância obtida na fórmula anterior.

Se as filas de colectores se dispuserem sobre uma superfície não horizontal, mas sim inclinada de um ângulo θ , a distância medida sobre o telhado será de $d\theta$:

$$d' = L * [\sin (\beta - \theta) / \tan(h_0 + \theta) + \cos(\beta - \theta)]$$

$$d\theta = d' / \cos \theta$$

Como regra geral, e para instalações em terraço, é necessário que a distância, para colectores com um comprimento de 2 metros (L), nunca seja inferior a 4,5 metros.

3.5 ESTUDO DE OPTIMIZAÇÃO

3.5.1 SOLUÇÃO A E B

O estudo de optimização de sistemas solares térmicos tem por base duas soluções tipo, a saber A e B.

A solução A é caracterizada por uma habitação unifamiliar, constituída por uma população de 4 habitantes permanentes, com um consumo diário de 40 l/hab.dia. Consideraram-se colectores do tipo plano com cobertura selectiva, com 2 módulos de 2.02 m² cada (1 m² por habitante), um reservatório de acumulação de 160 l e uma temperatura nominal de consumo de 45 °C (sistema do tipo Gasokol) [30]. O sistema de apoio é facultado por gás natural. A localização é no Porto, sendo considerados sombreamentos por defeito de 3 °.

A solução B é caracterizada por uma habitação multifamiliar composta por 10 fracções, constituída por uma população de 40 habitantes permanentes, com um consumo diário de 40 l/hab.dia. Os colectores são do tipo plano com cobertura selectiva, com 20 módulos de 2.02 m² cada, um reservatório de acumulação de 1.600 l e uma temperatura nominal de consumo de 45 °C (sistema do tipo Gasokol). O sistema de apoio é facultado por gás natural. A localização e sombreamentos são similares à solução A.

Quadro 10 - Resumo das soluções objecto de análise

	Solução A	Solução B
Tipo de habitação	unifamiliar	multifamiliar
Habitantes permanentes	4 hab	40 hab
Colectores planos	cobertura selectiva	cobertura selectiva
Área de captação	4.04 m ²	40.4 m ²
Depósito de acumulação	160 l	1.600 l
Temperatura de consumo	45 °C	45 °C
Localização	Porto	Porto

3.5.2 ORIENTAÇÃO E INCLINAÇÃO DE COLECTORES

A latitude mede a distância ao equador, que é a mais extensa de todas as linhas de latitude. Dá a volta à Terra, a meia distância entre os pólos.

Os colectores devem situar-se de tal forma que durante o período anual de utilização aproveitem ao máximo a radiação solar disponível. Devem ser orientados ao Sul geográfico, não coincidente com o Sul magnético definido pela bússola, já que em Portugal o Norte geográfico está cerca de 5° para a direita do Norte magnético. A orientação que maximiza a quantidade de radiação aproveitável coincide com o Sul geográfico. O Sul geográfico pode também determinar-se pela direcção da sombra projectada por uma vara às 12 horas de tempo solar real (figura 42).

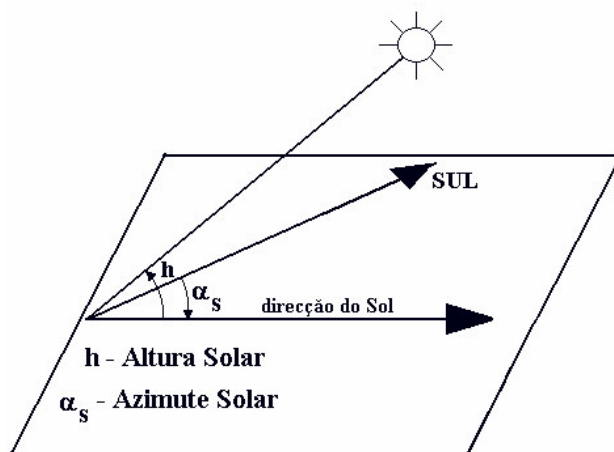


Figura 42 - Relação entre a altura e o azimute solar [25]

Como a Terra perfaz uma rotação completa sobre si mesma, isto é 360° em 24 horas, por cada hora de diferença entre o meio-dia do ponto onde estamos e do ponto de referência, foram percorridos 15° para Este ou para Oeste. Isto é, com os desvios para Leste o período diário adiantar-se-á uma hora por cada 15° de desvio relativamente a um equipamento orientado ao Sul geográfico (avanço à captação). Se o desvio é para o Oeste, o período de captação retardar-se-á na mesma proporção (atraso na captação), mas com um ligeiro acréscimo no rendimento pelo facto de funcionar mais tempo durante as horas em que a temperatura ambiente é mais elevada.

Variações de cerca de 10° relativamente ao ângulo de inclinação óptimo não afectam praticamente o rendimento e a energia térmica útil fornecida pelo equipamento solar. Desvios de orientação e inclinação superiores aos assinalados devem compensar-se com uma maior superfície de colectores.

A influência da orientação verifica-se para diferentes ângulos de incidência do Sol ao longo do ano. A uma determinada latitude, existe um valor máximo de radiação produzida que poderá ser obtida se a superfície receptora estiver inclinada a um determinado ângulo. O ângulo de inclinação óptimo, para os meses de Inverno (menor radiação) é maior que no Verão por causa da menor altura solar.

A quantidade de radiação solar captada numa superfície é máxima quando esta se encontra posicionada perpendicularmente à radiação devido à variação angular da absorptância e reflectância e ao percurso percorrido pela radiação na atmosfera.

A inclinação dos colectores deve otimizar a captação de radiação solar tendo em conta a variação da altura solar ao longo do ano (figura 43).

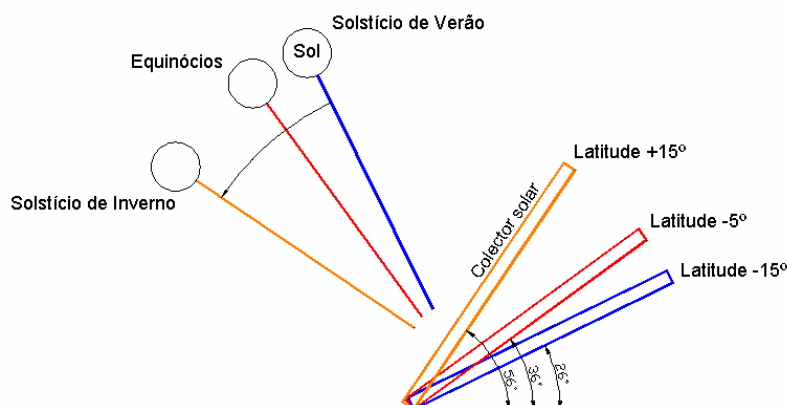


Figura 43 - Inclinação dos colectores segundo a altura do ano para uma latitude de 41° - Porto

As inclinações que habitualmente se aplicam aos colectores são fixas, determinadas pelo tipo de utilização e época do ano. Devido à dificuldade de alteração da inclinação da superfície absorvedora ao longo do ano, as inclinações propostas em média são as seguintes:

Quadro 11 - Inclinação de acordo com o período de utilização [4] [17]

Utilização	Inclinação
Verão (uso sazonal)	Latitude - 15°
Inverno (aquecimento ambiente)	Latitude + 15°
Anual (uso doméstico e outro não sazonal)	Latitude - 5°

Do anteriormente exposto, apresentam-se dados de comparação referentes às duas soluções A e situação B. A análise incide nos valores expressos no quadro 11 e na inclinação normal de uma cobertura de telhas cerâmicas, cujo valor é de aproximadamente 22° , ou seja de 40 % [10]. Com esse propósito efectuou-se a simulação para situações de consumo ao longo do ano (36°), consumo sazonal no Verão (26°), consumo sazonal no Inverno (56°) e para uma inclinação média de uma cobertura tradicional em telha cerâmica (22°), elementos referentes a uma latitude de 41° (Porto). De seguida apresentam-se quadros e figuras para as diferentes inclinações de colectores e soluções A e B analisadas com base no programa Solterm³.

³ Os cálculos justificativos da solução A são apresentados em anexo.

Constata-se a variação de energia incidente consoante a inclinação dos colectores (quadro 12). A energia incidente diária média de acordo com a inclinação e o azimute é a seguinte:

Quadro 12 - Energia incidente diária média em função da inclinação e o azimute do colector

Energia incidente diária média (kWh/m ²)										
Inclinação	71º	3,28	3,48	3,63	3,73	3,77	3,75	3,67	3,53	3,34
	66º	3,43	3,63	3,79	3,89	3,93	3,91	3,83	3,68	3,49
	61º	3,56	3,77	3,93	4,04	4,08	4,06	3,97	3,82	3,62
	56º	3,68	3,89	4,05	4,16	4,20	4,18	4,06	3,94	3,73
	51º	3,78	3,99	4,15	4,26	4,30	4,27	4,19	4,04	3,84
	46º	3,87	4,07	4,23	4,33	4,37	4,35	4,26	4,11	3,92
	41º	3,94	4,13	4,28	4,38	4,42	4,40	4,31	4,17	3,99
	36º	4,00	4,17	4,31	4,41	4,44	4,42	4,34	4,21	4,04
	31º	4,03	4,20	4,32	4,41	4,44	4,42	4,35	4,23	4,07
	26º	4,05	4,20	4,31	4,38	4,41	4,39	4,33	4,22	4,09
	-60º	-45º	-30º	-15º	0º	15º	30º	45º	60º	
Azimute										

O quadro 13 e a figura 44 representam a energia solar incidente em função da variação da inclinação do colector.

Quadro 13 - Energia solar incidente em função da inclinação do colector (solução A)

Meses	Inclinação			
	22°	26°	36°	56°
	kWh	kWh	kWh	kWh
Janeiro	109	113	122	130
Fevereiro	125	129	136	140
Março	149	151	154	152
Abril	167	168	167	162
Maio	165	165	163	157
Junho	158	158	157	151
Julho	163	163	162	160
Agosto	165	165	165	163
Setembro	152	152	153	161
Outubro	153	155	158	159
Novembro	119	123	130	136
Dezembro	113	119	129	140
Anual	1.741	1.761	1.795	1.800
Fracção solar	80.6 %	81.5 %	83.1 %	83.3 %

Obs. Os valores máximos ocorridos em cada mês estão destacados a vermelho.

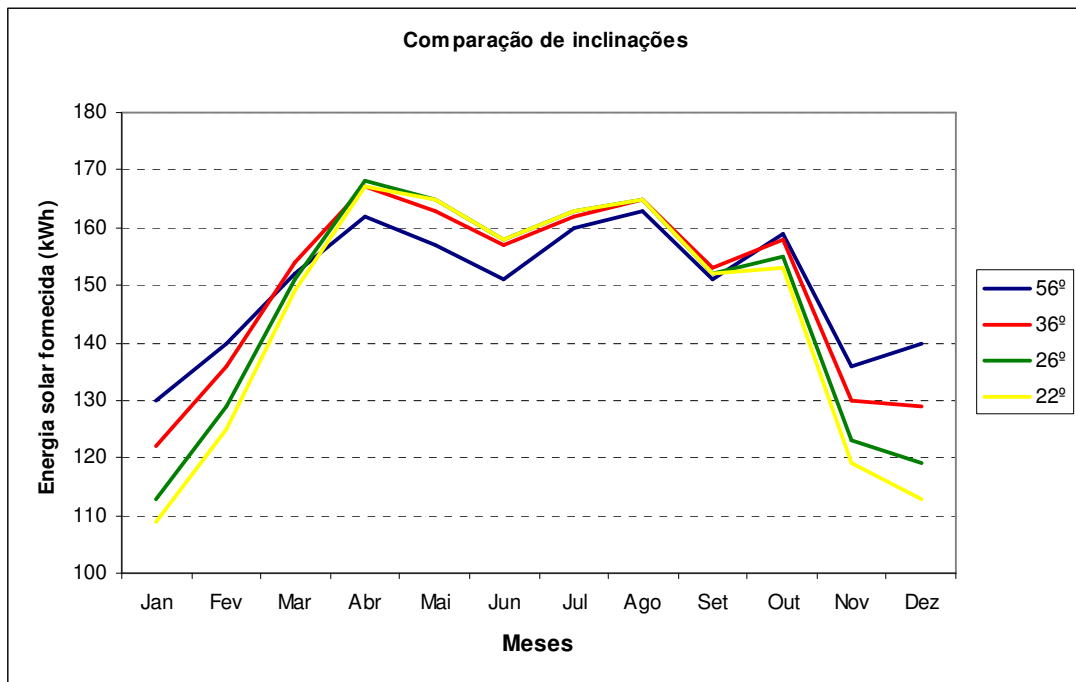


Figura 44 - Energia solar em função da inclinação (solução A)

Nas figuras 45 e 46 apresenta-se o défice energético quantitativo e o percentual referente à energia solar útil incidente para a inclinação de 36 °, considerada a inclinação que otimiza a energia para um consumo doméstico ao longo do ano.

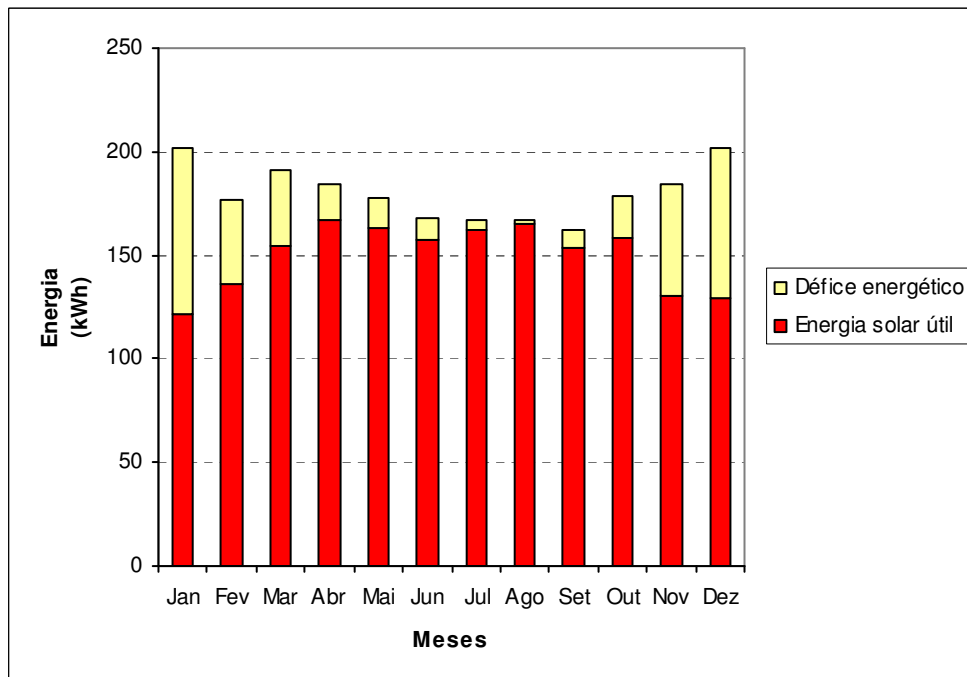


Figura 45 - Déficit energético em comparação com a energia solar útil disponível (solução A)

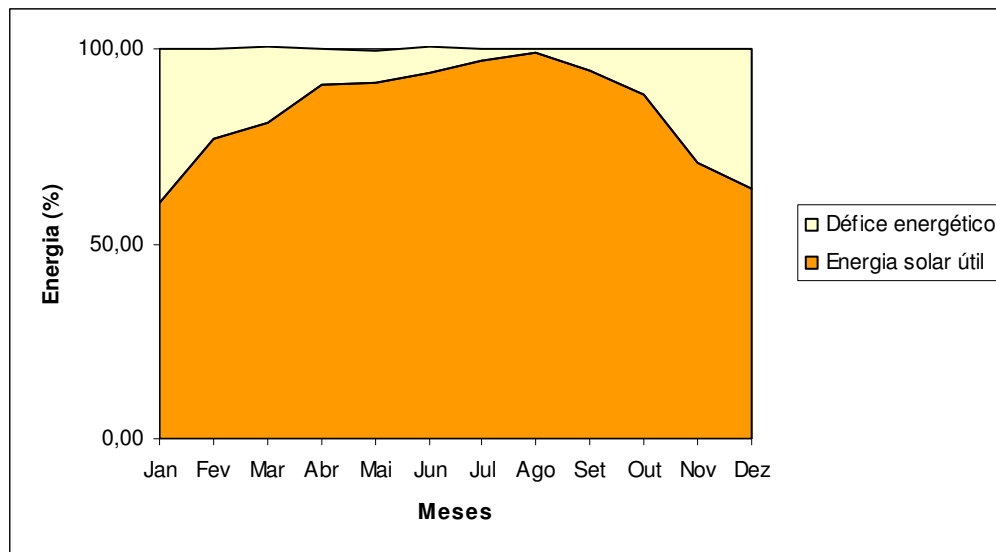


Figura 46 - Percentagem do défice energético em comparação com a energia solar útil (solução A)

A figura 47 representa a diferença quantitativa da energia solar captada em relação à energia necessária para o aquecimento de AQS, para uma inclinação de 36 °.

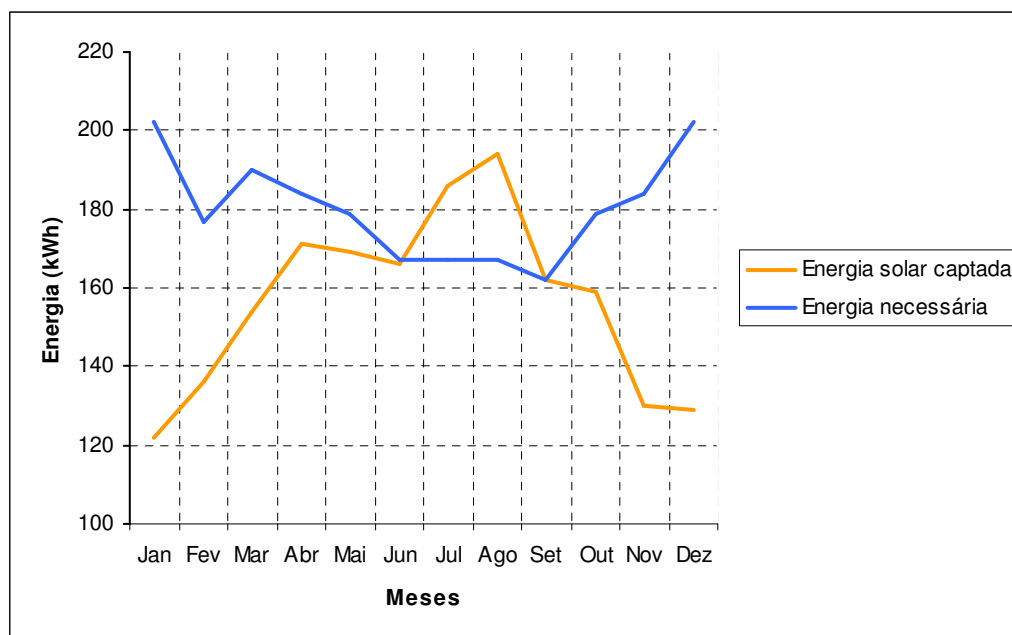


Figura 47 - Variação da energia necessária e solar disponível ao longo do ano (solução A)

A análise da solução B é análoga à anterior solução A, apresentando-se os respectivos quadros e figuras ⁴.

⁴ Os cálculos justificativos da solução B são apresentados em anexo.

Quadro 14 - Energia solar incidente em função da inclinação do colector (solução B)

Meses	Inclinação			
	22º	26º	36º	56º
	kWh	kWh	kWh	kWh
Janeiro	1.099	1.142	1.227	1.308
Fevereiro	1.309	1.346	1.414	1.462
Março	1.549	1.565	1.589	1.575
Abril	1.670	1.671	1.667	1.621
Maio	1.685	1.682	1.669	1.606
Junho	1.606	1.603	1.593	1.539
Julho	1.641	1.640	1.635	1.613
Agosto	1.658	1.658	1.657	1.649
Setembro	1.550	1.552	1.553	1.534
Outubro	1.582	1.598	1.625	1.635
Novembro	1.238	1.276	1.345	1.408
Dezembro	1.144	1.200	1.312	1.430
Anual	17.730	17.935	18.287	18.380
Fracção solar	82.7 %	83.7 %	85.3 %	85.7 %

Obs. Os valores máximos ocorridos em cada mês estão destacados a vermelho.

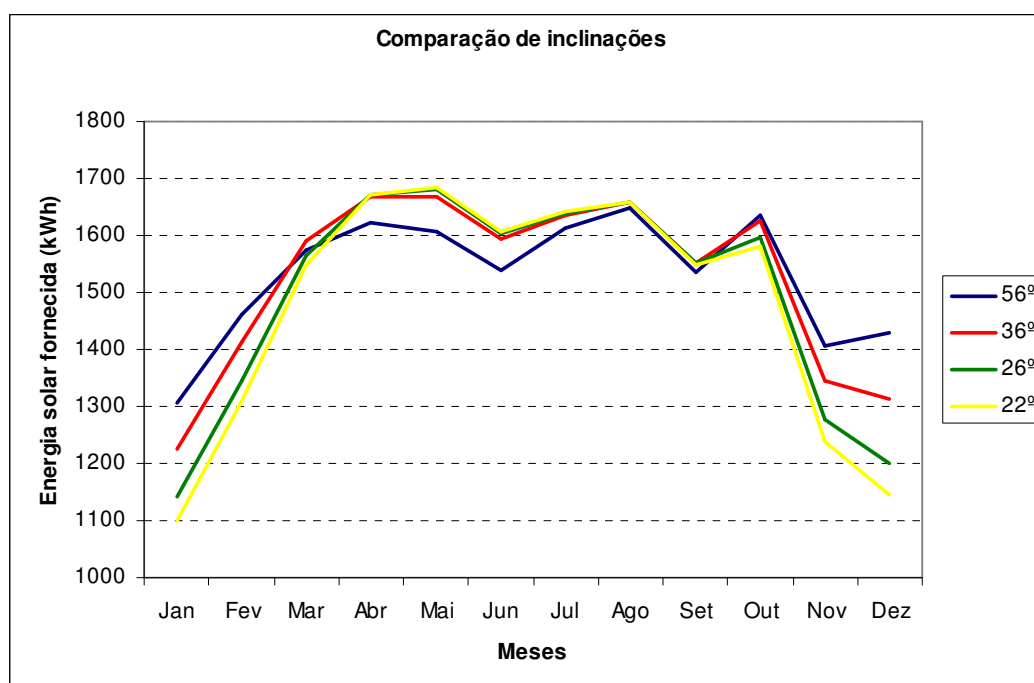


Figura 48 - Energia solar em função da inclinação (solução B)

À semelhança do anterior, nas figuras 49 e 50 apresenta-se o défice energético quantitativo e o percentual em relação à energia solar útil incidente para a inclinação de 36 °.

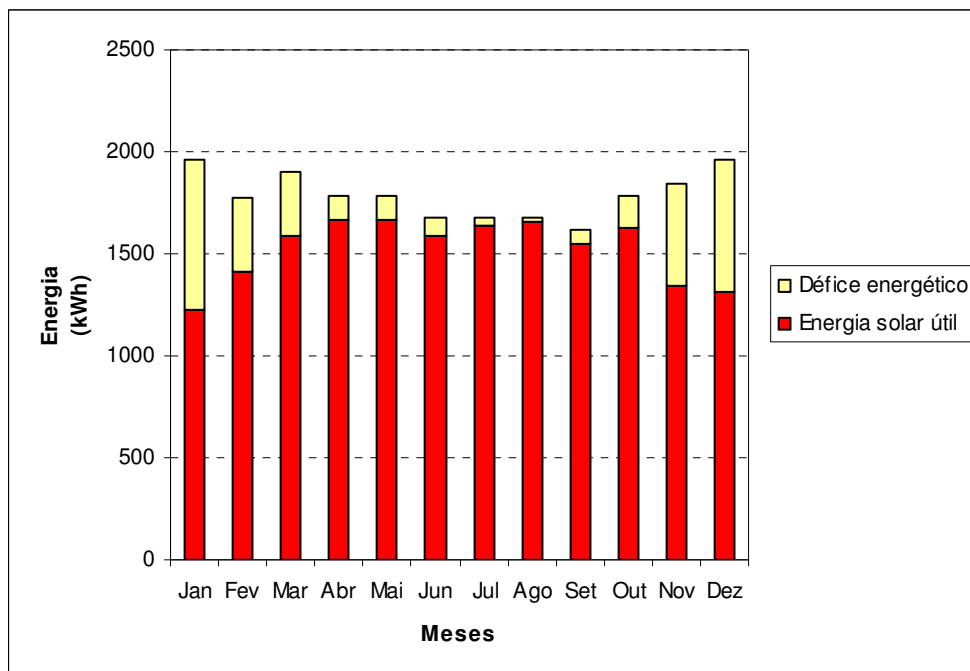


Figura 49 - Défice energético em comparação com a energia solar útil disponível (solução B)

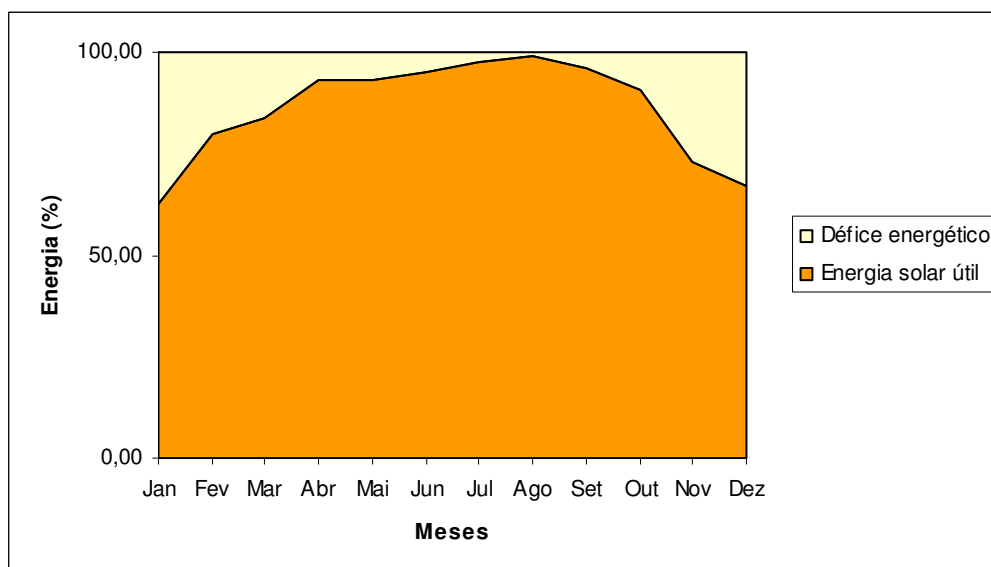


Figura 50 - Percentagem de défice energético em comparação com a energia solar útil disponível (solução B)

A figura 51 representa a diferença quantitativa da energia solar captada em relação à energia necessária para o aquecimento de AQS, para uma inclinação de 36 °.

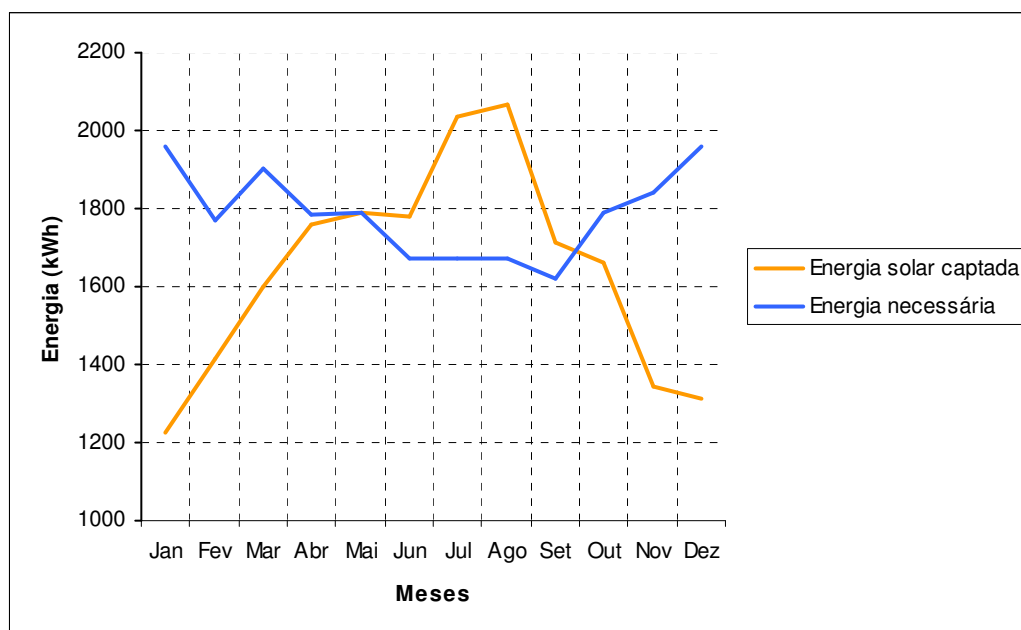


Figura 51 - Variação da energia necessária e solar disponível ao longo do ano (solução B)

Verifica-se que o ponto de maior valor de energia solar captada corresponde ao período dos meses de Julho e Agosto. Ocorre, inversamente, nos meses onde a necessidade energética para AQS é menor.

A inclinação de 22° , usualmente utilizada para as coberturas tradicionais em telha cerâmica, apresenta diferenças da fracção solar em relação à fracção solar para uma inclinação de 36° inferiores a cerca de 3 %. A validade de implantação de colectores nas coberturas tradicionais é verificada, sem necessidade de elevação da sua inclinação mediante estruturas de suporte.

A diferença entre a energia mensal necessária para a produção de um determinado volume de AQS e a respectiva contribuição de energia dos colectores solares ao longo do ano constitui a energia a fornecer pelo sistema de apoio (défice energético).

Os mesmos dados, mostram que nos meses de Verão, com o aumento da temperatura da água da rede e com a diminuição da temperatura de utilização de água quente, a energia necessária para aquecer o mesmo volume de água é inferior, quando comparado com os meses mais frios.

A optimização do valor da inclinação ocorre próximo dos 36° , onde os ganhos versus os desperdícios de energia solar são menores, proporcionando uma maior homogeneidade na energia solar disponível ao longo do ano.

3.5.3 CONSUMO E VOLUME DO DEPÓSITO DE ACUMULAÇÃO

O objectivo da optimização do volume do depósito de acumulação de água quente é que a água acumulada tenha energia suficiente para a satisfação das necessidades de consumo do utilizador tipo, durante os períodos de ausência ou de fraca radiação solar.

A estratificação no depósito de acumulação é muito importante para as performances do sistema solar térmico, pois o rendimento dos colectores é tanto maior quanto mais baixa for a temperatura de entrada (figura 52). Para além disso há um aumento da satisfação do utilizador.

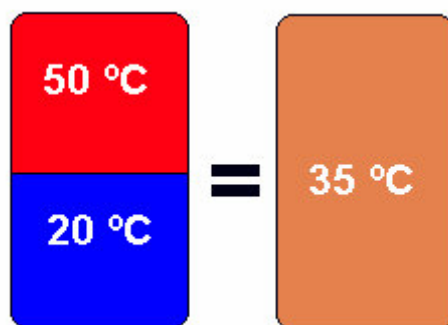


Figura 52 - Comparação entre depósitos com e sem estratificação [17]

Ainda que a energia contida nos dois depósitos seja a mesma, o utilizador da 1.^a instalação fica satisfeito, pois tomará vários banhos quentes enquanto o utilizador da 2.^a instalação ficará descontente, pois terá de utilizar o apoio convencional para garantir o mesmo número de banhos em condições satisfatórias.

A estratificação deve ser fomentada e protegida. Têm influência a posição e o material do depósito, a turbulência gerada pela entrada de água na rede, a qual poderá ser minimizada pela existência de dispositivos silenciadores, por exemplo bengalas, e pela utilização de válvulas misturadoras termostáticas, que reduzem o caudal de água quente.

A existência da bengala faz com que a água fria que entra, funcione como um êmbolo que empurra a água quente, sem se misturar (figura 53).

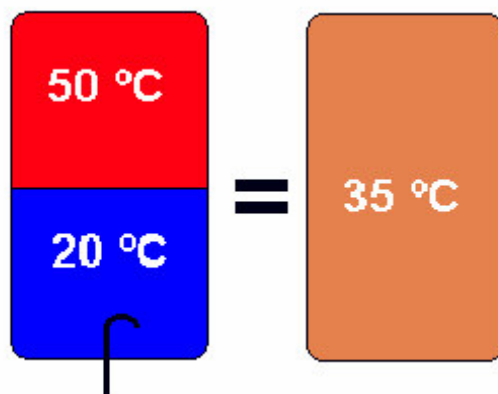


Figura 53 - Comparação entre depósitos com e sem bengala [17]

Num depósito devidamente concebido e instalado, ao extrairmos o correspondente à sua capacidade, conseguimos extrair mais de 90 % da energia nele contida, dado haver pouca mistura de água.

O dimensionamento do depósito de acumulação de água quente tem por suporte o perfil de consumo, ou seja:

- tipo de utilização;

- período de utilização;
- carga diária;
- temperatura de utilização.

Estas condicionantes podem ser descritas por três tipos de factores [1] [17]:

Superfície de colector solar térmico instalada

O volume óptimo de acumulação depende das características do colector, do local e das características de consumo. De um modo geral, o volume de acumulação é idêntico ao consumo diário. Valores superiores não provocam maiores economias. Se o volume acumulado é menor, obtêm-se maiores temperaturas de acumulação mas com um menor rendimento.

Temperatura de utilização

A temperatura deverá ser adequada ao tipo de utilização pretendida. No entanto, interessa que seja o mais baixa possível. Por exemplo, se a utilização principal for para banhos, temperaturas da água na ordem dos 36 a 40 °C, é indicado que o sistema solar seja dimensionado para 45 a 50 °C.

Desfasamento entre o período de captação, armazenamento e consumo

- Coincidência entre período de captação e o de consumo: volume de acumulação entre 35 a 50 l / m² (de área de colector). Situações de pré-aquecimento de água para reposição em caldeira inserida num processo industrial contínuo.
- Diferenças entre a captação e o consumo não superiores a 24 horas: volume de acumulação entre 60 a 90 l / m² (de área de colector). Situação de AQS em habitações, etc.
- Diferenças entre a captação e o consumo, habituais ou periódicas, estimadas como superiores a 24 horas e inferiores a 72 horas: volume de acumulação entre 75 a 150 l / m² (de área de colector). Situações de aquecimento de água em processos industriais.

Com base nas duas soluções propostas para optimização, A e B, propomos a variação dos consumos por habitante, mantendo a área de captação fixa.

Um factor decisivo para a manutenção do nível de energia suplementar baixo prende-se com o pré-estabelecimento da temperatura da água no depósito de acumulação, ou seja, quanto menor a temperatura necessária, por exemplo 45 °C, maior a proporção de aquecimento coberta pela energia solar e vice-versa.

Dependendo de ajustamentos para a situação específica, os valores médios de consumo por habitante, na vertente doméstica, a uma temperatura aproximada de 45 °C são os seguintes:

- consumo baixo: 20 a 30 l,
- consumo médio: 30 a 50 l;
- consumo elevado: 50 a 70 l.

As condições de análise para as duas situações tipo A e B são as seguintes [5]:

i) 40 l / hab.dia - Se o consumo de AQS for o previsto no dimensionamento do sistema, ou seja de 160 litros, os colectores solares proporcionam a energia suficiente para suprir as necessidades e funcionarão a um rendimento adequado.

ii) 30 l / hab.dia - Se o consumo de AQS for inferior ao previsto, a contribuição dos colectores será inferior, motivando um rendimento mais baixo, mas com um maior impacto na contabilização total. A energia de apoio anual sofre um decréscimo. A temperatura da água da rede desce, o rendimento do colector solar sobe.

iii) 50 l / hab.dia - Se o consumo de AQS for superior ao previsto, a contribuição dos colectores será superior, com uma contribuição de energia maior, mas com um menor impacto na contabilização total. A energia de apoio anual sofreria um aumento.

iii) 60 l / hab.dia - Tendo em consideração as notas introdutórias, efectuar-se-á uma análise para uma diferença entre a captação e o consumo inferior a 24 h, considerando-se o consumo mínimo diário por habitante de 60 l / dia.hab, isto é, entre os 60 a 90 l / m² (de área de colector) anteriormente referenciados.

Optou-se por introduzir um valor de consumo manifestamente baixo - 20 l / hab.dia, de modo a ser melhor perceptível a evolução dos valores das variáveis em análise.

Apresentam-se os quadros 15 e 16 de resumo do efeito da variação do consumo de água quente na energia solar, na energia solar desperdiçada, na fracção solar e na eficiência do sistema solar, com base no Solterm⁵.

Quadro 15 - Efeito da variação anual do consumo de água quente (solução A)

Consumo de água quente (l / hab.dia)	20	30	40	50	60
Energia solar (kWh/ano)	1.013	1.423	1.795	2.116	2.397
Energia solar desperdiçada (kWh/ano)	204	133	82	16	0
Fracção solar (%)	93,7	88,5	83,1	79,0	74,6
Eficiência do sistema (%)	15	21	27	32	36

Quadro 16 - Efeito da variação anual do consumo de água quente (solução B)

Consumo de água quente (l / hab.dia)	20	30	40	50	60
Energia solar (kWh/ano)	9.996	14.593	18.287	21.724	24.576
Energia solar desperdiçada (kWh/ano)	5.711	2.158	1.419	423	61
Fracção solar (%)	93,3	90,8	85,3	81,1	76,4
Eficiência do sistema (%)	15	22	27	32	37

⁵ Os cálculos justificativos da solução A e B são apresentados em anexo.

A eficiência do sistema reflecte a taxa de produção de calor solar, para a radiação solar global na superfície do absorsor, relativamente a um dado período de tempo, usualmente um ano. A eficiência descreve o desempenho do sistema.

$$E_{\text{sistema}} = \text{Produção} / \text{Radiação global} * \text{Área da superfície absorsora} * 100 \text{ (\%)}$$

O valor óptimo do consumo de água quente situa-se entre os 40 a 50 l / hab.dia, dado o compromisso entre a energia solar desperdiçada, a fracção solar e a eficiência do sistema (quadros 15 e 16).

A figura 54 ilustra a variação da percentagem de aproveitamento da energia solar incidente em função da variação dos consumos. O consumo e o volume de acumulação estão relacionados com a área de colector, podendo observar-se que acima de 60 l / m² de colector, o aumento de energia solar útil é pouco significativo.

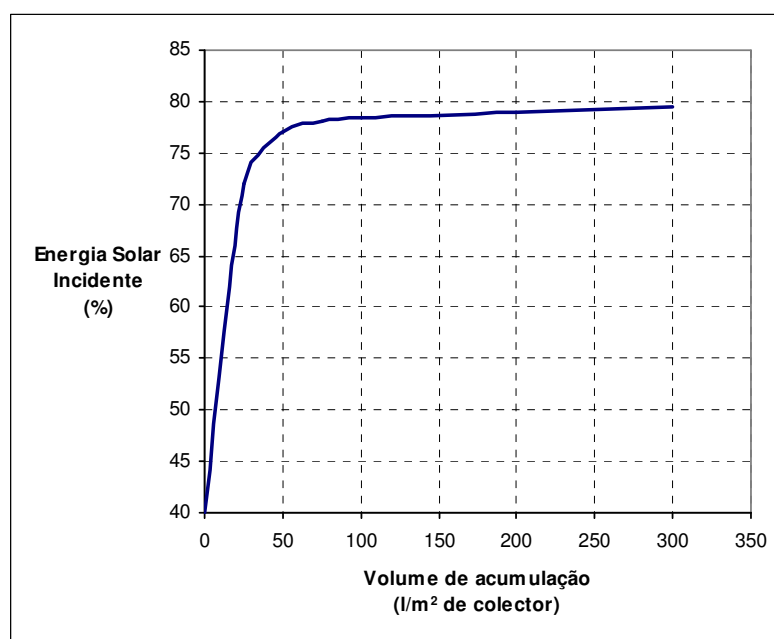


Figura 54 - Volume de acumulação função da percentagem de energia solar incidente [17]

Valores superiores do volume de acumulação não conduzem a percentagens significativamente superiores de aproveitamento da energia solar incidente, mas contribuem para um aumento do custo do depósito de acumulação, logo invariavelmente do sistema solar.

Se a acumulação é menor, conseguem-se maiores temperaturas em detrimento do rendimento do colector, e se é maior corre-se o risco de não se alcançar a temperatura pretendida.

3.5.4 ÁREA DE CAPTAÇÃO

A análise recai no sector doméstico, o qual é formado pelos potenciais utilizadores particulares de água quente para uso sanitário, isto é, fins domésticos.

São definidas três áreas colectoras (figura 55), sendo a área válida considerada para dimensionamento como área de captação a área do absorsor.



Figura 55 - Áreas de um coletor solar [15]

Os sistemas solares para produção de AQS são geralmente dimensionados para cobrir a totalidade das necessidades térmicas durante os meses de Verão. Nos restantes meses do ano, a cobertura das necessidades térmicas para AQS são repartidas entre o sistema solar e o sistema de apoio, com energia convencional.

Se por hipótese fosse considerado no dimensionamento da superfície colectora o critério de que a energia solar captada no período de actividade fosse igual ao consumo, motivaria que em muitos meses a percentagem de substituição, isto é, a fracção solar, ultrapassaria os 100 %, o que quereria dizer que haveria captação de energia em excesso. Deverá optar-se por se considerar que a percentagem nos meses de Verão, com destaque para Julho e Agosto, ronde os 100 % (apesar de se penalizar a captação no Inverno), diminuindo deste modo a área de captação e consequentemente os custos de instalação.

O RCCTE [26], no n.º 2 do artigo 7.º, define que deverá ser considerada para instalações domésticas 1 m² de área de coletor por habitante e na alínea c) do artigo 14.º define o consumo de 40 l / dia.hab a 60 °C, independentemente de outras variáveis. No entanto este é um critério que não é consensual.

As áreas de captação não devem ser fixas, dado que as variações na área de captação dependem da radiação solar no local, da latitude e da orientação solar. Desvios significativos da orientação solar em relação ao Sul, deverão ser compensados com um acréscimo no número de colectores, como já referido.

Um dos requisitos do RCCTE que tem suscitado controvérsia, como mencionámos, é a obrigatoriedade de se considerar 1 m² de coletor por habitante. Há vias de pensamento que defendem que em vez de as necessidades energéticas serem expressas por m², deveriam ser consideradas em kWh, ou seja, a energia por habitante, sob a forma de calor. O legislador deverá ponderar e permitir a adequação da área de captação às características do coletor, permitindo deste modo a competitividade de colectores de diferentes níveis de rendimento. Deste modo, é possível reduzir a área de captação inicialmente calculada, de forma a validar o critério descrito acima. Através da folha de cálculo desenvolvida em Excel (quadros 17 e 19), verifica-se qual a área de captação que possibilita a obtenção nos meses de Verão de cerca de 100 % do aproveitamento energético, com a natural diminuição da captação nos restantes meses do ano. Com esta opção de dimensionamento, é possível a redução da área de captação em aproximadamente 50 % em relação aos critérios do RCCTE.

Apresentam-se os elementos referentes à análise das duas soluções A e B (quadros 17 a 20). A vermelho destacam-se os meses onde a área de captação é igual ou inferior aos valores fixos - definidos no RCCTE. Os quadros 18 e 20 foram elaborados com base no Solterm.

Quadro 17 - Quantidade efectiva de colectores função do mês de Julho (solução A)

Meses	Hab. (n)	Ocupação (%)	Cons. hab. (l)	Energia mensal necessária (kWh)	Superfície colectora necessária (m ²)
Janeiro	4	100	40	203,56	23,20
Fevereiro	4	100	40	183,86	9,92
Março	4	100	40	197,61	5,31
Abril	4	100	40	185,47	3,34
Maio	4	100	40	186,30	2,74
Junho	4	100	40	171,65	2,29
Julho	4	100	40	171,42	1,87
Agosto	4	100	40	172,01	1,94
Setembro	4	100	40	169,34	2,61
Outubro	4	100	40	183,92	4,03
Novembro	4	100	40	192,38	8,33
Dezembro	4	100	40	204,75	19,12

Fazendo-se uso das duas variantes tipo de análise (área de captação fixa e área de captação variável), efectua-se a devida comparação em quadro resumo ⁶.

Quadro 18 - Área de captação fixa e área de captação variável (solução A)

Meses	Área de colectores			
	2.02 m ² (variável)		4.04 m ² (fixa)	
	Energia fornecida kWh	Apoio kWh	Energia fornecida kWh	Apoio kWh
Janeiro	100	102	122	80
Fevereiro	107	70	136	41
Março	118	72	154	37
Abril	135	49	167	17
Maio	145	34	163	15
Junho	140	28	157	11
Julho	153	14	162	5
Agosto	155	12	165	2
Setembro	135	27	153	9
Outubro	128	51	158	21
Novembro	108	77	130	54
Dezembro	100	102	129	73
Anual	1.522	639	1.795	366
Produtividade	753 kWh/m ² de colectores		444 kWh/m ² de colectores	
Fracção solar	70,0 %		83,1 %	

⁶ Os cálculos justificativos da solução A são apresentados em anexo.

A figura 56 ilustra graficamente a variação das energias fornecida e de apoio para as áreas de captação fixa e variável.

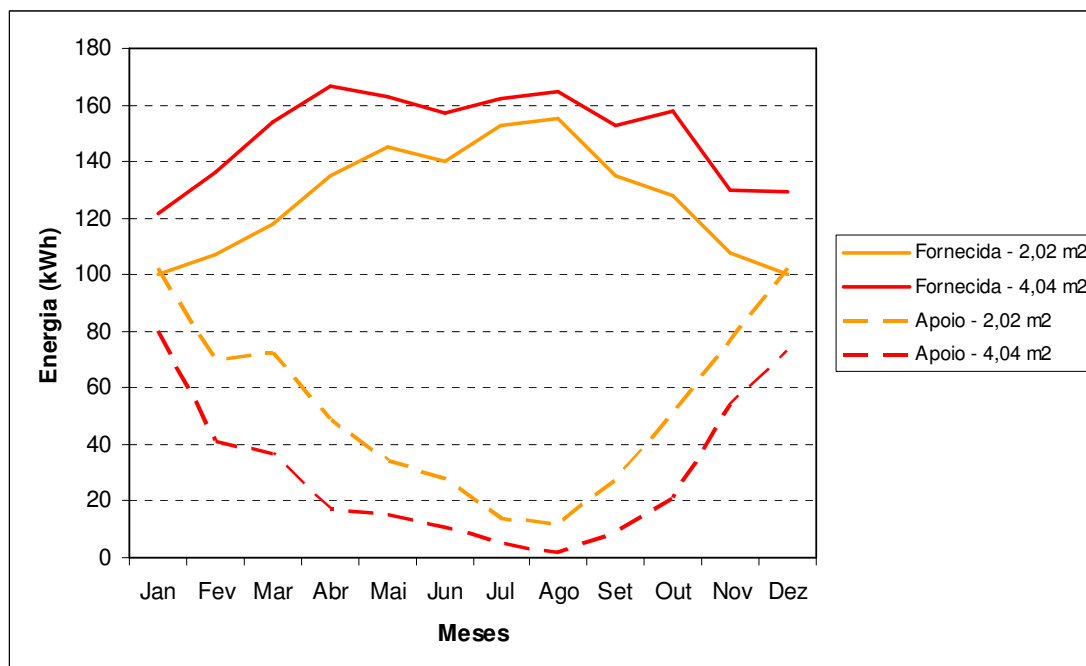


Figura 56 - Energia fornecida e energia de apoio para diferentes áreas de captação (solução A)

Apresentam-se os resultados da solução B⁷, à semelhança do efectuado anteriormente para a solução A.

Quadro 19 - Quantidade efectiva de colectores função do mês de Julho (solução B)

Meses	Hab. (n)	Ocupação (%)	Cons. hab. (l)	Energia mensal necessária (kWh)	Superfície colectora necessária (m ²)
Janeiro	40	100	40	2035,58	231,97
Fevereiro	40	100	40	1838,59	99,21
Março	40	100	40	1976,06	53,10
Abril	40	100	40	1854,72	33,39
Maio	40	100	40	1862,98	27,39
Junho	40	100	40	1716,48	22,89
Julho	40	100	40	1714,18	18,68
Agosto	40	100	40	1720,13	19,36
Setembro	40	100	40	1693,44	26,06
Outubro	40	100	40	1839,17	40,26
Novembro	40	100	40	1923,84	83,31
Dezembro	40	100	40	2047,49	191,21

⁷ Os cálculos justificativos da solução B são apresentados em anexo.

Quadro 20 - Área de captação fixa e área de captação variável (solução B)

Meses	Área de colectores			
	20.02 m ² (variável)		40.04 m ² (fixa)	
	Fornecido kWh	Apoio kWh	Fornecido kWh	Apoio kWh
Janeiro	831	1.130	1.227	734
Fevereiro	962	809	1.414	357
Março	1.171	732	1.589	314
Abril	1.341	445	1.667	119
Maio	1.389	399	1.669	119
Junho	1.397	278	1.593	81
Julho	1.540	133	1.635	38
Agosto	1.528	144	1.657	15
Setembro	1.317	301	1.553	66
Outubro	1.250	538	1.625	162
Novembro	935	907	1.345	496
Dezembro	856	1.105	1.312	648
Anual	14.518	6.920	18.287	3.151
Produtividade	719 kWh/m ² de colector		453 kWh/m ² de colector	
Fracção solar	67,7 %		85,3 %	

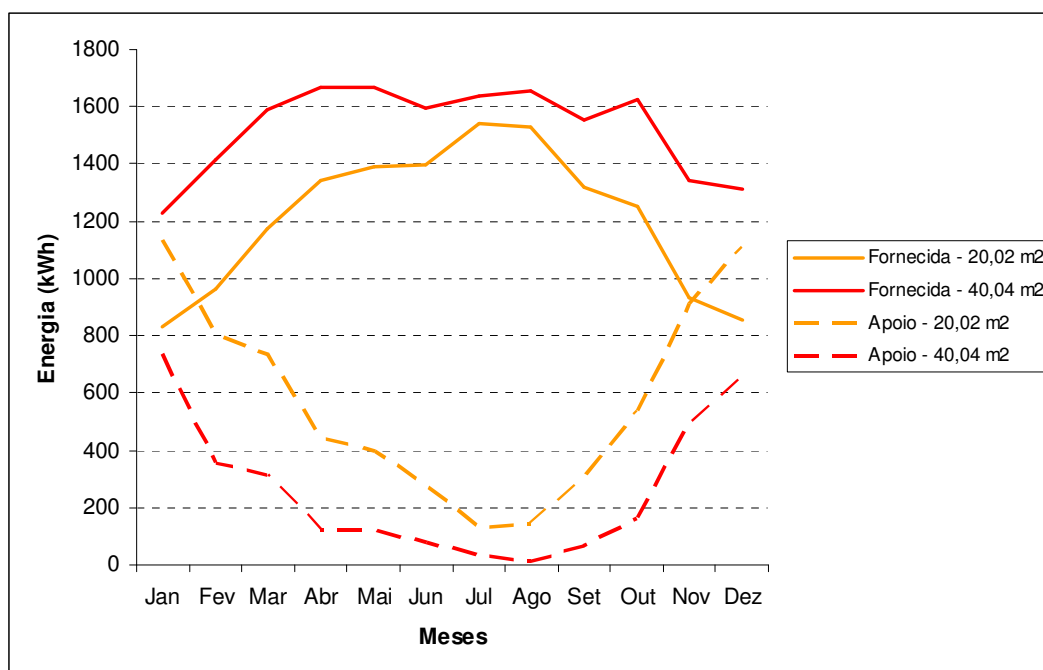


Figura 57 - Energia fornecida e energia de apoio para diferentes áreas de captação (solução B)

Apesar da fracção solar ter diminuído aproximadamente 15 % com a redução da área de captação (em cerca de 50 %) na solução A, mas dentro de parâmetros aceitáveis, a produtividade dos colectores aumentou em quase 70 %. Esta alteração de conceito da área de captação (variável e não fixa) permite

a obtenção de valores aceitáveis de energia solar, mas com a inerente vantagem de um investimento inicial francamente inferior.

Na solução B, a vantagem na diminuição da área de captação já não é tão evidente. No entanto, em situações colectivas o custo por m^2 de colector solar é inferior a situações individuais.

Do quadro 17 referente à solução A retira-se que a quantidade de colectores necessária para satisfação das necessidades energéticas no mês de Janeiro seria de 11,5 colectores de $2,02 \text{ m}^2$ cada, em contraste com o mês de Julho que seriam necessários apenas 0,93 colectores. Não é viável técnico-económico a satisfação das necessidades energéticas para o mês mais desfavorável (de Inverno), mas sim para o mês mais favorável (de Verão). Leitura análoga para o quadro 19.

De salientar que o programa Solterm na opção de pré-dimensionamento do número de colectores considera para base de dimensionamento o valor nominal de 700 W/m^2 de colector instalado, atribuído de acordo com o referenciado em projecto europeu designado por Nova Geração de Sistemas Solares Térmicos (NEGST) [16]. Este valor é da ordem de grandeza dos valores obtidos para a produtividade com a consideração de uma área de colector variável.

O número de colectores poderá ser arredondado por defeito ou por excesso. Por exemplo, se numa pequena instalação doméstica (unifamiliar) o cálculo do número de colectores indicar 2,16 deverá considerar-se 2 em vez de 3 colectores. Se for numa instalação de grande dimensão (multifamiliar), para o resultado de 39,3 será mais indicado considerar-se 40.

O aumento no arredondamento do número de colectores calculados com o propósito de obtenção de uma maior captação energética é um erro grave, dado que uma instalação sobredimensionada em superfície colectora produzirá com frequência altas temperaturas, o que encurtará a vida útil dos elementos do sistema. É aconselhável um gasto ligeiramente superior em energia de apoio, que submeter a instalação a temperaturas mais altas que o normal. Se apesar de tudo, estas situações se concretizarem, é necessário que a situação (altas temperaturas) ocorra o menor tempo possível, devendo tomar-se medidas minimizatórias, tais como:

- cobrir os colectores, se forem acessíveis. É aconselhável também em ausências temporais;
- drenar um baixo volume de água quente do depósito de acumulação para permitir a entrada de água fria da rede;
- esvaziar os colectores e proceder à sua cobertura, sempre que se prevejam ausências prolongadas.

3.5.5 RENDIMENTO DO COLECTOR SOLAR

Um dos parâmetros mais importantes na definição de um colector é o seu rendimento. Quanto maior for a diferença entre a temperatura de utilização e a temperatura ambiente, maiores serão as perdas térmicas, logo menor a quantidade de energia útil que o fluído será capaz de extrair. Uma vez que o rendimento do colector se define como o quociente entre a energia útil e a energia solar incidente ou de uma forma simplista, é a forma mais ou menos eficiente como transforma a energia solar em calor (água quente), o rendimento diminui à medida que a temperatura de utilização aumenta. No entanto, este aspecto reveste-se de outras variáveis, porque o rendimento de um colector solar térmico não é um valor individual, dependendo da temperatura da água que circula no colector e diminui à medida que esta aumenta. Dependendo do tipo de colector, o rendimento diminui mais ou menos acentuadamente com a temperatura.

Evidentemente, em nenhum caso a temperatura de utilização, para um determinado colector, poderá ser superior que a sua temperatura de equilíbrio. Daqui se reitera uma regra fundamental do ponto de vista de aproveitamento energético: interessa que os colectores trabalhem à temperatura o mais baixo possível, sempre que a temperatura de utilização seja suficiente para o uso específico em cada caso.

Na selecção correcta de um colector em relação ao rendimento, a opção está mais relacionada com a adaptabilidade à função do que ao valor mais elevado de rendimento. A observação da curva característica do colector deve mostrar que para temperaturas típicas da aplicação a que se destina o colector, deverá apresentar rendimentos não inferiores a 40-50 %. Esta opção deverá ser considerada aquando da selecção do equipamento.

O rendimento de um colector é traduzido pela seguinte expressão [17]:

$$\eta = F' (\tau \alpha) - (F' \times U_L) \times [(t_f - t_a) / I]$$

sendo,

F' - factor de correcção (irrigação);

τ - transmitância da cobertura transparente;

α - absorptância do absorsor;

U - coeficiente global de perdas;

t_f - temperatura média do fluido (°C);

t_a - temperatura ambiente (°C);

I - radiação solar incidente sobre o colector por unidade de área.

As curvas características de um colector solar são determinadas por meio de ensaios laboratoriais. Os coeficientes para os colectores solares usuais são os seguintes:

Quadro 21 - Rendimento e perdas de colectores solares [17]

Tipo de colector	Características (referentes à área de abertura)	
	F' ($\tau \alpha$) (%)	F' x U _L W/m ² .C
Plano sem cobertura (não selectiva)	80 a 90	20
Plano com cobertura (não selectiva)	70 a 80	8,0 a 9,0
Plano com cobertura (selectiva)	70 a 80	3,0 a 6,0
CPC	70 a 75	4,2 (orientação N-S) 3,7 (orientação E-W)
Tubos de vácuo	70 a 80	1,8 a 3,0

Obs. F' ($\tau \alpha$) - rendimento óptico do colector e F' x U_L - coeficiente de perdas.

Nas situações onde o consumo não ocorra de uma forma mais ou menos uniforme e repartido ao longo do dia, o rendimento da instalação poderá diminuir por duas razões:

- a temperatura da água no acumulador aumentou, logo o rendimento do colector diminuiu;
- as próprias perdas do acumulador aumentam. Esta situação verifica-se quando o consumo da totalidade de água quente ocorra às primeiras horas do dia, já que o acumulador estaria na sua máxima temperatura durante toda a noite, aumentando desta forma as perdas.

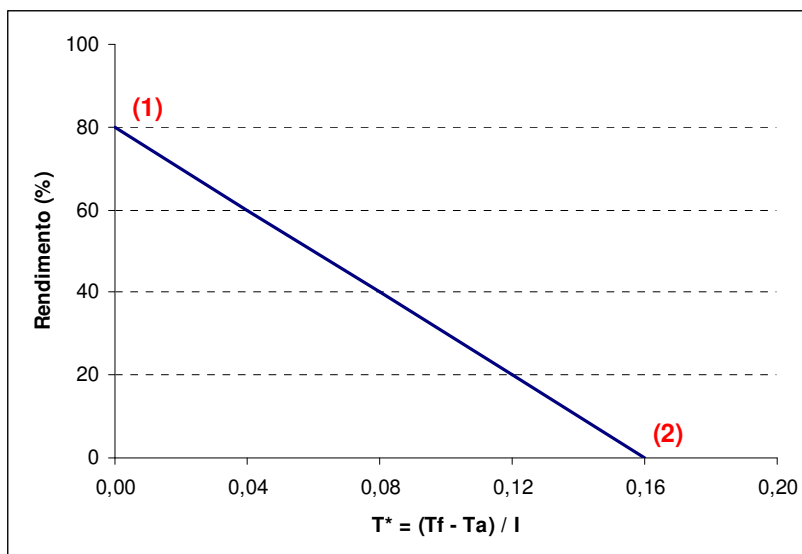


Figura 58 - Curva de rendimento de um coletor solar [17] [19]

Da análise da curva de rendimento de um coletor solar (figura 58) para temperaturas de funcionamento baixas - ver ponto 2.2.5 (sector doméstico), verifica-se que o rendimento de um coletor diminui à medida que a temperatura média do fluido de transferência (T_f) sobe. Quando T^* é nula, isto é, a temperatura média do fluido é igual à temperatura ambiente (T_a), o rendimento designa-se por rendimento óptico - ver ponto 1 na figura 58. Quando a temperatura de saída for igual à temperatura de entrada ou o caudal for nulo, o rendimento é nulo, e o coletor atinge a temperatura de estagnação, isto é, máxima temperatura que o coletor pode atingir para uma temperatura ambiente e radiação determinadas - ver ponto 2 da figura 58.

Do descrito, depreende-se que a selecção do coletor deverá ser efectuada de acordo com a temperatura de utilização pretendida, com o propósito de que o rendimento seja superior a 40 %.

Com base no programa de dimensionamento Solterm é possível efectuar simulações das performances de um sistema solar num ano médio.

Tendo por base uma análise simplificada, determinaram-se as áreas necessárias para três tipos diferentes de colectores, associados a diferentes rendimentos, a saber, coletor plano com cobertura não selectiva, coletor plano com cobertura selectiva e coletor concentrador com cobertura [23] ⁸.

Apresenta-se no quadro 22 a variação da fracção solar e da área de captação para os três tipos de colectores anteriormente referidos, para o caso concreto da cidade do Porto, com base no programa Solterm.

⁸ Os quadros justificativos são apresentados em anexo.

Quadro 22 - Variação da fracção solar e área de captação função do rendimento do colector

Tipo de colector	Consumo									
	200 l/dia		500 l/dia		1.000 l/dia		1.500 l/dia		2.000 l/dia	
	A (m ²)	FS (%)	A (m ²)	FS (%)	A (m ²)	FS (%)	A (m ²)	FS (%)	A (m ²)	FS (%)
Cobertura não selectiva	4	81	8	72	18	76	26	75	32	74
Cobertura selectiva	4	88	8	82	14	74	22	77	28	76
Concentrador com cobertura	4	89	6	74	12	76	16	70	22	73

Obs. A - área de captação da superfície colectora e FS - fracção solar.

Dos resultados depreende-se que a área de captação diminui com o aumento do rendimento óptico do colector, sendo a alteração mais visível nas situações onde o consumo diário é superior. A fracção solar aumenta com o aumento do rendimento óptico do colector nas situações de baixos consumos. Para os grandes consumos a fracção solar diminui no caso dos colectores concentradores com cobertura, sendo a diminuição compensada com a redução na área de captação e invariavelmente do investimento inicial do sistema solar térmico.

No final deste capítulo retém-se que as opções de base a considerar no dimensionamento de um sistema solar térmico têm influência directa na sua optimização.

Uma inclinação adequada permite a obtenção de uma fracção solar indicada ao propósito do sistema solar térmico. Consumos baixos de água quente motivam uma fracção solar elevada, mas em contrapartida uma baixa eficiência do sistema solar, derivada do substancial desperdício de energia solar. Consumos elevados promovem uma elevada rentabilidade da energia solar, mas uma diminuição da fracção solar, sendo relevante o dimensionamento do sistema para os consumos na realidade existentes. A diminuição da área de captação motiva uma maior eficiência do sistema ao longo do ano, além de um menor custo de instalação.

4

ANÁLISE TÉCNICO-ECONÓMICA

4.1 PERÍODO DE RETORNO

Uma das formas de avaliar, na vertente económica, os benefícios que se poderão obter com a aquisição de um sistema solar são os tempos de retorno do investimento, isto é, a razão entre o custo do sistema, investimento inicial, e as poupanças médias anuais esperadas. Estas são calculadas considerando que, pelo facto de se utilizar o sistema solar, a factura de energia convencional, electricidade ou gás, é diminuída anualmente num valor médio equivalente à energia fornecida pelo sistema solar.

Considerando que, para diferentes hipóteses de energia convencional substituída (termoacumulador ou esquentador eléctrico, caldeira ou esquentador de gás natural, ou propano ou butano) e para diferentes valores de custo desta e admitindo-se que este preço se mantém constante ao longo dos anos, analisaram-se os tempos de retorno simples de investimento para a aquisição de um sistema solar.

No sector doméstico, a água quente é utilizada essencialmente nas instalações sanitárias, tais como banhos de duche e/ou de imersão, e na lavagem de louça e roupa.

O aquecimento de água sanitária é um processo no qual é dispendida uma quantidade apreciável de energia. Os equipamentos convencionais mais usuais utilizados no aquecimento de água quente são os termoacumuladores eléctricos e os esquentadores e caldeiras murais a gás. Estes equipamentos são responsáveis por grande parte do consumo de energia no sector doméstico. A utilização de colectores solares permitirá contribuir para uma redução substancial no consumo energético global.

Tendo por base os dados da solução A e B, efectuou-se uma análise de uma forma simples, mas objectiva, dos custos energéticos para os consumos referenciados (quadro 23) para gás propano, gás butano, gás natural e electricidade.

Quadro 23 - Consumos energéticos da solução A e B

	Solução A	Solução B
Consumo de energia diário	4.800 kcal/dia (5,58 kWh/dia)	48.000 kcal/dia (55,82 kWh/dia)
Consumo anual	1.752.000 kcal/ano (2.038 kWh/ano)	17.520.000 kcal/ano 20.375,76 kWh/ano)

Os consumos anuais, os custos anuais e as diferenças entre o valor mais baixo do custo anual do sistema solar térmico e os valores dos sistemas convencionais de energia da solução A ⁹ são os seguintes:

Quadro 24 - Benefício económico de um colector solar térmico (solução A)

Tipo de energia	Tipo de equipamento	Consumo anual	Custo € / ano	Diferença €/ano
Gás propano	Esq.	263,78 kg	474,80	447,48
	Caldeira	186,19 kg	335,15	308,03
Gás butano	Esq.	267,89 kg	432,75	405,63
	Caldeira	189,10 kg	305,47	278,35
Gás natural	Esq.	322,51 m ³	269,09	241,97
	Caldeira	227,65 m ³	206,18	179,06
Electricidade	Simples	2.144,82 kWh	314,03	286,91
	Bi-horário	2.144,82 kWh	259,90	232,78
Solar térmico	Apoio elec.	366,00 kWh	27,31	0,19
	Apoio GN	40,893 m ³	27,12	0,00

Obs. O valor da diferença anual é resultante da comparação dos diferentes valores de energia convencional com o apoio de caldeira a gás natural (GN) do sistema solar térmico, em virtude de ser o mais económico.

Na situação eléctrica da energia de apoio ao sistema solar térmico, e de modo a evitar consumos desnecessários de energia, considerou-se um relógio temporizador que desliga a resistência eléctrica durante parte do dia, quando por norma as necessidades de água quente numa habitação são menores.

O custo do sistema de apoio não está inserido no sistema solar, dado ter-se considerado que independentemente da fonte de energia, é necessário sempre um sistema de aquecimento de água convencional.

O período de retorno simples, sem considerações de várias ordens, tais como manutenção e inflação, somente dos custos de energia, considerando-se como sendo o quociente do valor do investimento sobre a poupança anual, ou seja, concretamente no caso da solução A varia aproximadamente entre 5 e 17 anos (comparação com sistema de apoio materializado em caldeira a gás natural) (ver quadro 25).

⁹ As bases de dimensionamento da solução A são apresentadas em anexo

Quadro 25 - Período de retorno simples de um colector solar (solução A)

Energia convencional substituída	Tipo de equipamento	Período de retorno	
		Com benefício fiscal	Sem benefício fiscal
Gás propano	Esquentador	5,1	6,7
	Caldeira	7,5	9,7
Gás butano	Esquentador	5,7	7,4
	Caldeira	8,3	10,8
Gás natural	Esquentador	9,5	12,4
	Caldeira	12,8	16,8
Electricidade	Simplex	8,0	10,5
	Bi-horário	9,9	12,9

Como se pode verificar, a médio/longo prazo o aquecimento de água utilizando energia solar é vantajoso em termos económicos. Trata-se igualmente de uma opção mais vantajosa a nível de emissões de gases poluentes.

O período de retorno na solução A não é inferior devido ao diminuto consumo de água quente e há inexistência de economia de escala como se verifica para um sistema colectivo, dado que o custo de um sistema solar térmico individual ronda os 700 €/m² (área de colectores de 4 m²) e um sistema colectivo na casa dos 550 €/m² (área de colectores de 120 m²). Nestes valores não está incluído o imposto sobre o valor acrescentado.

No caso da situação B ¹⁰ (quadro 26), os restantes pressupostos mantêm-se, somente há alteração no sistema solar térmico, o qual altera o valor por m², sendo aproximadamente de 22.000 € (40.0 m² de colector + depósito acumulador comum), correspondendo a cada fracção um custo aproximado de 2.200 € (média de 4 habitantes).

Analisando e comparando com a situação A, a alteração das variáveis é devida à alteração do preço do colector solar, pelo que o período de retorno simples, na situação B é de aproximadamente 3 a 17 anos - ver quadro 27 - (comparação com sistema de apoio materializado em caldeira a gás natural), ou seja, redução em 2 anos no período de retorno simples em comparação com a situação A.

¹⁰ As bases de dimensionamento da solução B são apresentadas em anexo

Quadro 26 - Benefício económico de um colector solar (solução B)

Tipo de energia	Tipo de equipamento	Consumo anual	Custo € / ano	Economia €/ano
Gás propano	Esq.	2.637,76 kg	4.747,97	4.512,82
	Caldeira	1.861,95 kg	3.351,51	3.118,03
Gás butano	Esq.	2.678,90 kg	4.327,45	4.093,97
	Caldeira	1.890,99 kg	3.054,67	2.821,19
Gás natural	Esq.	3.225,09 m ³	2.194,08	1.960,60
	Caldeira	2.276,54 m ³	1.565,00	1.331,52
Electricidade	Simples	21.448,17 kWh	2.520,41	2.286,93
	Bi-horário	21.448,17 kWh	1.700,41	1.466,93
Solar térmico	Apoio elec.	3.151,00 kWh	235,14	1,66
	Apoio GN	352,05 m ³	233,48	0,00

Obs. O valor da diferença anual é resultante da comparação dos diferentes valores de energia convencional com o apoio de caldeira a gás natural (GN) do sistema solar térmico, em virtude de ser o mais económico.

Quadro 27 - Período de retorno simples de um colector solar (solução B)

Energia convencional substituída	Tipo de equipamento	Período de retorno	
		Com benefício fiscal	Sem benefício fiscal
Gás propano	Esquentador	3,3	4,9
	Caldeira	4,8	7,1
Gás butano	Esquentador	3,7	5,4
	Caldeira	5,3	7,8
Gás natural	Esquentador	7,7	11,2
	Caldeira	11,3	16,5
Electricidade	Simples	6,6	9,6
	Bi-horário	10,2	15,0

Para os utilizadores que usem o gás natural, o tempo de recuperação do investimento é um pouco maior, em comparação com o uso do gás butano e propano. Nota-se ainda uma significativa diferença entre a utilização da caldeira mural, cujo rendimento de queima pode ser de cerca de 85 % e a utilização de um simples esquentador, cujo rendimento pode ser bastante mais baixo, na ordem dos 60 %.

Para a tarifa normal da electricidade na produção de AQS em termoacumuladores eléctricos, sem beneficiar de forma capaz da tarifa bi-horária, os colectores solares são uma alternativa a considerar.

Pelo que se conclui que é essencial um sistema solar térmico devidamente dimensionado e optimizado, e a existência de benefícios fiscais, para que os períodos de retorno sejam o mais baixo possível.

A viabilidade técnico-económica de um sistema solar térmico depende em larga medida dos seguintes factores:

- quantidade anual de radiação solar;
- custo inicial do sistema solar;
- custo dos combustíveis convencionais;
- necessidades e perfil de consumo anual;
- temperatura de utilização da água quente;
- variação futura do custo dos combustíveis convencionais;
- incentivos fiscais e subsídios à instalação;
- disponibilidade física para a instalação.

4.2 REDUÇÃO DE EMISSÕES POLUENTES

As razões económicas encimam as prioridades na análise decisória de aquisição de um sistema solar térmico. No entanto a mentalidade privada, em articulação com a mentalidade pública, necessita de alterar as prioridades, dando destaques aos benefícios ambientais proporcionados com a implementação de um sistema solar em oposição ao consumo de energia primária de origem fóssil.

Com base nas duas soluções de análise (A e B) e na energia primária do sistema de apoio apresentam-se as emissões de CO₂ evitadas com o uso de sistemas solares térmicos:

Quadro 28 - Impactos evitados de emissões de CO₂ equivalente

Solução	Energia convencional substituída	Impactos evitados (kg CO ₂ equivalente/ano)
A	Electricidade	1439
	Gás natural	570
	Gás butano	561
	Gás propano	552
B	Electricidade	14 667
	Gás natural	5 800
	Gás butano	5 700
	Gás propano	5 600

Obs. Na energia primária electricidade foi admitido que 39% da electricidade é de FER na rede eléctrica - Base Solterm.

Comparativamente por habitante os valores são os seguintes:

Quadro 29 - Impactos evitados de emissões de CO₂ equivalente por habitante

Solução	Energia convencional substituída	Impactos evitados (kg CO ₂ equivalente/ano habitante)
A	Electricidade	359,75
	Gás natural	142,50
	Gás butano	140,25
	Gás propano	138,00
B	Electricidade	366,68
	Gás natural	145,00
	Gás butano	142,50
	Gás propano	140,00

Depreende-se que as reduções das emissões de CO₂ são consideráveis, sendo de aproximadamente 363 kg CO₂ equivalente/ano por habitante para a energia convencional substituída - electricidade, e de cerca de 141 kg CO₂ equivalente /ano por habitante para a energia convencional substituída - gás.

Como termo de comparação com a redução de emissões de CO₂ proporcionadas por um sistema solar térmico, refira-se que um veículo automóvel familiar médio (segmento D) emite cerca de 145 g / km de CO₂, o que corresponde à seguinte equivalência por habitante:

Quadro 30 - Distância percorrida correspondente aos impactos evitados de emissões de CO₂ equivalente por habitante

Solução	Energia convencional substituída	Distância equivalente percorrida (km/ano hab.)
A	Electricidade	2.481,03
	Gás natural	982,76
	Gás butano	967,24
	Gás propano	951,72
B	Electricidade	2.528,83
	Gás natural	1.000,00
	Gás butano	982,76
	Gás propano	965,52

Os valores apresentados motivam uma reflexão sobre o quanto é importante o aumento dos impactos evitados de kg CO₂ equivalente com a generalização na implantação de sistemas solares térmicos nas edificações.

5

IMPLICAÇÕES CONSTRUTIVAS

Apresentam-se breves considerações sobre implicações construtivas na instalação de sistemas solares térmicos, que traduzem também as preocupações inerentes à escolha do sistema solar.

A instalação dos sistemas engloba quatro áreas ocupacionais [15]:

- construção civil (telhados e coberturas);
- instalações eléctricas;
- instalações hidráulicas (água);
- instalações mecânicas (aquecimento e gás).

A complementaridade destas quatro áreas condiciona a conveniência de se ter uma equipa multidisciplinar na instalação. Frequentemente, a documentação técnica do equipamento, instruções de instalação e outra bibliografia mostram-se insuficientes na altura da instalação, dada a enorme quantidade de variáveis existentes.

Antes da instalação, os colectores deverão ser armazenados em espaços cobertos sobre uma superfície horizontal. Em situações excepcionais de armazenamento no exterior, deverão ser devidamente protegidos da chuva.

Se os colectores, uma vez desembalados e antes da sua montagem, tiverem que ser depositados no exterior, deverão ser colocados com um ângulo mínimo de 20° e máximo de 70° , com a cobertura de vidro orientada para cima. Deverão evitar-se as posições horizontais e verticais. Se os colectores tiverem que ficar inclinados num ângulo de 20° ou 30° não se devem apoiar uns sobre os outros. Se inclinados $40^\circ / 70^\circ$ poderão ser apoiados, um sobre outro, até um máximo de seis colectores.

Para evitar excessivas dilatações é conveniente cobrir os colectores, uma vez instalados, até ao enchimento da instalação com o fluido de transferência térmica.

A instalação de sistemas solares térmicos implica o conhecimento prévio de diversos elementos, os quais têm implicações construtivas consideráveis, tais como:

- determinação de eventuais sobreamentos nos colectores solares devido a edifícios envolventes e do próprio edifício, de árvores na envolvente ou de outros elementos potenciadores de provocarem sombras nos colectores (não esquecer o eventual sobreamento entre diversas filas de colectores);
- identificação da área disponível para a implantação dos colectores;

- verificação da orientação solar ideal dos colectores em função das condicionantes envolventes;
- verificação da inclinação solar ideal dos colectores em função dos condicionalismos envolventes;
- verificar as acessibilidades futuras aos colectores para manutenção (limpeza, vistoria e reparação), garantido o acesso sem obstruções a eventuais chaminés existentes;
- evitar a instalação de colectores na envolvente de árvores (independentemente de não causarem sombreamento) e debaixo de antenas de recepção de sinal televisivo ou outros equipamentos equivalentes devido aos dejectos dos pássaros;
- definição do menor trajecto possível entre os colectores e o depósito de acumulação;
- observância das condicionantes específicas do edifício onde será efectuada a instalação dos colectores;
- avaliação da necessidade de equipamento auxiliar na elevação dos colectores para os locais de instalação;
- caracterização do tipo de instalação de colectores viável, isto é, no telhado ou sobre o telhado, em terraço, no terreno ou outro;
- tipo de cobertura do telhado (telha cerâmica, fibrocimento, ardósia ou outro);
- avaliação do tipo de estrutura de telhado existente e sua capacidade de resistência;
- equacionar o tipo de fixação dos colectores a adoptar função do tipo de instalação prevista;
- identificação dos equipamentos existentes (tais como esquentadores) a adaptar ou desactivar;
- definição do espaço necessário para o depósito de acumulação, sistema de apoio (pré-existente ou não), vaso de expansão e demais acessórios necessários ao correcto funcionamento do sistema;
- adequação das infra-estruturas existentes - instalações eléctricas, instalações hidráulicas e instalações mecânicas - ao sistema a instalar;
- a alimentação de água da rede pública ao sistema deverá ser constituída por válvula de seccionamento, filtro, válvula de redução de pressão e válvula de retenção.

O telhado é o local onde os instaladores verificam maiores dificuldades, perante o surgimento de situações desconhecidas. Sempre que o campo de colectores é instalado no telhado e as tubagens e ligações necessitem de prolongamento para o interior da edificação, é necessário intervir na estrutura do telhado. Deste modo, torna-se necessário conhecer e obedecer aos pressupostos de montagem definidos em projecto e nas instruções do fabricante.

De acordo com a inclinação, os telhados classificam-se do seguinte modo:

- telhados planos: até 5 ° de inclinação;
- telhados com inclinação normal: $< 5^\circ$ e $\leq 45^\circ$ de inclinação;
- telhados muito inclinados: $> 45^\circ$ de inclinação.

As etapas para instalação sobre o telhado com inclinação normal são resumidamente as seguintes:

1. Preparação do caminho de transporte do colector, desde o solo até ao local de instalação;
2. Marcação da área afecta ao colector no telhado;
3. Instalação dos suportes. Os suportes podem ser do tipo de aparafusamento/ganchos de telhado aos elementos estruturais da cobertura, nomeadamente lajes de cobertura, vigamento ou outros. Em alternativa, é removida a cobertura do telhado em pontos seleccionados e são inseridas telhas especiais que servem de apoio à fixação dos suportes. Em situação de instalação integrada no telhado, a área de intervenção deverá ser destapada, com a remoção das telhas;
4. Aparafusamento dos carris de montagem nos ganchos de telhado ou a telhas especiais;
5. Fixação das cordas de elevação do colector ou pegas, com o propósito de sustentar o colector, levantar e transportar o colector para o telhado, e posterior colocação nos carris de montagem com a correspondente fixação com parafusos (fixação para telhados inclinados);
6. Se existirem diversos colectores, deverão ser inseridas as tomadas de ligação com o-ringues ou conectores de tubagens, devidamente isoladas termicamente;
7. Ligação das tubagens, englobando o isolamento térmico;
8. Posicionamento das telhas de ventilação, ligação das linhas de alimentação e retorno ao colector e condução através do revestimento do telhado para o interior deste. As telhas de ventilação têm como objectivo facultar os atravessamentos de tubagem. Perfuração da estrutura da cobertura e do isolamento térmico. Fecho e selagem das furações;
9. Instalação de sensores e acessórios nos respectivos locais;
10. Em caso de instalação integrada, deverão ser efectuados os remates necessários e correspondentes selagens.

Na situação de aplicação numa cobertura plana, os colectores devem ser instalados com uma inclinação adequada, pelo que os pontos 3, 4, 5 e 10 são substituídos essencialmente por:

1. Definição do tipo de fixação pretendida para os suportes de apoio planos (aço galvanizado ou alumínio), com os ângulos de fixação correspondentes. Existem, em geral 2 tipos possíveis de fixação dos elementos de apoio. Elementos de pousar na cobertura com o propósito de protecção à estrutura do telhado existente, com a inerente faculdade de recepção dos suportes de apoio (sub-estrutura) ou fixação dos suportes de apoio directamente aos elementos estruturais da cobertura;
2. Aparafusamento/fixação dos suportes de apoio aos elementos estruturais existentes do telhado;
3. Englobado a elevação do colector, a colocação é efectuada aos suportes de apoio (fixação para terraços - telhados horizontais);
4. No caso da sub-estrutura, aplicação do contra-peso, de modo a maximizar a resistência às acções mecânicas dos agentes atmosféricos. Aproximadamente 100 a 250 kg/m² por área de colector. Esta situação induz sobrecargas elevadas à estrutura, pelo não é uma solução de grande aplicabilidade.

De referir que a aplicação em telhados transmite uma carga adicional ao elemento estrutural do telhado de aproximadamente 20 a 25 kg/m² da área do colector.

As formas de telhado têm implicações na solução de instalação do sistema solar térmico. O exemplo abaixo retratado (figura 59) é referente a uma instalação em habitação unifamiliar, em telhado de telha cerâmica.



Figura 59 - Instalação de colector solar térmico em cobertura inclinada

Os sistemas solares térmicos antes da entrega ao dono da instalação deverão ser sujeitos a dois tipos de ensaios:

- Ensaio de estanquicidade

Os circuitos devem ser testados a uma pressão 1,5 vezes superior à pressão normal de funcionamento para verificação da existência de fugas. A válvula de segurança, que tem uma pressão nominal inferior, só poderá ser montada depois do teste de pressão.

- Ensaio de aquecimento da instalação solar

Verificar-se-á num dia claro e sem consumo de água, arrancando e deixando funcionar o sistema durante várias horas. A temperatura de acumulação deverá ser superior, como mínimo, em 20° C à temperatura da água de rede.

As operações necessárias de manutenção periódicas para um sistema solar térmico a serem efectuadas pelo dono da instalação e pelo responsável da manutenção são complementares mas diferentes.

O instalador deverá entregar ao cliente um manual de instruções, em que deverá constar o esquema de identificação dos elementos constituintes do sistema, bem como informações sobre o uso da instalação e as operações de segurança, conservação e manutenção.

É conveniente a informação sobre os limites aconselháveis de calcário na água de alimentação ao sistema.

O dono da instalação, além de efectuar habitualmente o arranque e paragem da instalação, deverá:

- comprovar periodicamente a pressão do circuito, de preferência com o sistema frio. Se a pressão for baixa, deverá contactar o instalador ou responsável pela manutenção;
- manobrar a válvula de segurança para evitar que fique colada, pelo menos trimestralmente.

O responsável pela manutenção, além das operações de rotina atribuídas ao dono da instalação, deverá também efectuar as seguintes:

- verificar se o sistema tem ar, assegurando o seu enchimento e a pressurização nominal;
- comprovar se também as válvulas da instalação funcionam correctamente;
- comprovar se as sondas de temperatura funcionam correctamente e que o controlo diferencial arranca e se o ΔT de arranque e de paragem são os pretendidos;
- inspecções visuais para verificação de:
 - isolamentos situados à intempérie;
 - estado do campo de colectores (estanquicidade à chuva, vidros partidos, deformação das caixas dos colectores, corrosões, fugas de fluido, etc.).

O dono da instalação deverá ter presente as situações potenciadoras de o sistema entrar em estagnação (ver 2.3.1).

Períodos sem extracção de energia do campo de colectores (avarias e longos períodos de ausência de consumos) podem conduzir a temperaturas de estagnação elevadas nos colectores solares térmicos:

- colectores planos com cobertura (selectiva): 180 a 220 °C;
- tubos de vácuo: 220 a 300 °C.

No caso de instalações que possam ficar em estagnação, é frequente o desaparecimento do fluido térmico do circuito primário devido à ocorrência de ebulição.

No caso de sistemas de circulação forçada, de modo a proteger o depósito de acumulação e outros componentes, inibe-se o funcionamento da electrobomba de circulação acima de uma certa temperatura, podendo provocar a ebulição do fluido no circuito primário.

A exposição dos componentes do sistema solar a temperaturas elevadas, incluindo alguns componentes do sistema de armazenamento, pode provocar:

- funcionamento defeituoso dos acessórios e perda de fluido térmico;
- activação da válvula de segurança, mesmo que esteja devidamente seleccionada;
- choques térmicos na rede de distribuição de fluido térmico.

De modo a minimizar estes factos, é possível serem equacionadas várias soluções, no entanto algumas de difícil execução:

- dimensionar o sistema para possuir uma pressão na zona dos colectores superior à tensão de vapor correspondente à temperatura de estagnação (possível com colectores com temperaturas de estagnação não muito elevadas).
- alteração da posição do vaso de expansão e sobredimensionamento para receber o fluido expulso dos colectores pelo vapor. De realçar que as soluções construtivas do colector e da ligação entre colectores são determinantes para o bom funcionamento desta solução.
- controlo da circulação
 - circulação forçada: o controlador deve parar a electrobomba.
 - termosifão: deverá englobar também um dos dispositivos utilizados para limitar a temperatura de funcionamento).
- limitar a temperatura de funcionamento
 - descargas de água quente (mediante válvulas pressostáticas);
 - tubos de calor que dissipem a energia do depósito acima de uma temperatura de segurança;
 - by-passes termostáticos de segurança térmica;
 - eliminação do isolamento da tubagem de alimentação dos colectores (solução que acarreta algumas perdas);
 - com temperaturas de estagnação muito elevadas não é possível a utilização de purgadores automáticos, pelo que se recomenda o sobredimensionamento do vaso de expansão.
- esvaziar o circuito primário
 - automaticamente quando a electrobomba pára (sistema “drain back”);
 - manualmente para prevenir danos durante o período sem utilização (neste caso para o re-arranque, será necessário encher o circuito primário);
- cobrir os colectores, de preferência com uma rede sombreadora a 50% (pouco prático).

As breves considerações descritas sobre as preocupações na instalação de sistemas solares térmicos deverão ser analisadas e consideradas no decurso da instalação e durante a sua utilização.

6

CONCLUSÕES

Os sistemas solares térmicos não asseguram na íntegra a totalidade da energia necessária para dar cumprimento às necessidades energéticas dos utilizadores em termos de águas quentes sanitárias, sendo necessário recorrer a um sistema de apoio, com suporte em fontes de alimentação convencionais (gás e/ou electricidade).

No entanto, é aconselhável ser sempre dada prioridade à energia solar em detrimento da energia convencional, sempre que tal se proporcione.

Os critérios de dimensionamento dos sistemas solares são diferentes dos adoptados para os equipamentos convencionais, não se dimensionando neste caso para as condições limites (períodos de baixa radiação solar), mas para as necessidades energéticas médias anuais.

O sistema solar é normalmente dimensionado para proporcionar uma disponibilidade anual (fracção solar) de cerca de 60 a 80 % das necessidades de aquecimento de água. Os restantes 20 % a 40 % deverão ser fornecidos por um sistema de apoio convencional.

Os consumos de água quente reflectem directamente o que um sistema deverá fornecer, isto é, o consumo energético será directamente proporcional ao consumo volumétrico, uma das vantagens na optimização dos consumos.

A temperatura de utilização da água quente deverá ser apropriada à utilização pretendida, sendo de considerar-se uma temperatura de referência de 45 °C, dado que quanto mais baixa for a temperatura, mais optimizada será possível de ser a instalação solar.

No dimensionamento de sistemas solares térmicos não deverão existir à partida condicionantes de cálculo fixas, como a área de captação e o consumo de água, de modo a ser possível enquadrar correctamente o perfil de consumo e a área de captação que melhor se adapte ao tipo de instalação pretendida e permitir a optimização dos rendimentos dos vários tipos de colectores existentes no mercado.

Estas opções de dimensionamento têm influência directa na optimização dos sistemas solares. A inclinação não assume um papel principal na optimização de colectores. Os consumos e as áreas de captação assumem o seu protagonismo, com influência directa na energia solar aproveitada e consequentemente na eficiência do sistema solar térmico.

Os meses de Dezembro e Janeiro são os mais condicionantes em termos de eficiência dos sistemas, sendo esta sempre baixa, inclusive em zonas com condicionantes climatológicas favoráveis.

As diferenças existentes entre o Norte e o Sul de Portugal não são impeditivas da sua implementação a Norte.

O período de retorno torna-se mais aliciante quanto mais baixo for o custo inicial de investimento e mais alta for a energia convencional a ser substituída, passando a energia solar a interveniente principal no aquecimento de água.

As reduções de emissões poluentes proporcionadas por um sistemas solar térmico revestem-se de importância, devendo passar a ser um elemento condicionante e não acessório nas considerações de avaliação de um sistema solar térmico.

BIBLIOGRAFIA

- [1] ADENE (Agência para a Energia) - *Projectos de Energia Solar para Aquecimento de Água*. Amadora, Janeiro de 2004. www.adene.pt. Consulta em Março de 2008.
- [2] ADENE / INETI - *Fórum “Energias Renováveis em Portugal - Relatório Síntese*. Lisboa, Novembro de 2001. ISBN 972-8646-01-1. www.adene.pt. Consulta em Março de 2008.
- [3] Agência de Energia do Porto - *Matriz Energética do Porto*. Porto, Março de 2008. www.adeporto.eu. Consulta em Abril de 2008.
- [4] AQSpP (Água Quente Solar para Portugal) - *Guia para Instaladores de Colectores Solares - Aquecimento de Água com Garantia de Qualidade*. Lisboa, Abril de 2004. ISBN 972-8268-32-7. www.aguaquentesolar.com. Consulta em Fevereiro de 2008.
- [5] AQSpP - *Utilização de Colectores Solares para Aquecimento de Água no Sector Doméstico*. Lisboa, Abril de 2004. ISBN 972-8268-29-7. www.aguaquentesolar.com. Consulta em Fevereiro de 2008.
- [6] AQSpP - *Produção de Calor de Processo Industrial*. Lisboa, Abril de 2004. ISBN 972-8268-30-0. www.aguaquentesolar.com. Consulta em Fevereiro de 2008.
- [7] AQSpP - *Colectores Solares para Aquecimento de Água - Pavilhões Desportivos e Piscinas*. Lisboa, Abril de 2004. ISBN 972-8268-28-9. www.aguaquentesolar.com. Consulta em Fevereiro de 2008.
- [8] AQSpP - *Observatório para o Solar Térmico - Caracterização do Solar Térmico em Portugal*. Lisboa, 2005. www.aguaquentesolar.com. Consulta em Fevereiro de 2008.
- [9] AQSpP - *Perguntas frequentes*. www.aguaquentesolar.com. Consulta em Fevereiro de 2008.
- [10] Associação Portuguesa de Industriais de Cerâmica e Construção - *Manual de Aplicação de Telhas Cerâmicas*. Coimbra, 1998.
- [11] ESTIF (European Solar Thermal Industry Federation) - *Sun in Action II - A Solar Thermal Strategy for Europe* - Volumes 1 e 2. Abril de 2003. www.estif.org. Consulta em Fevereiro de 2008.
- [12] ESTIF - *Solar Thermal - Action Plan for Europe - Heatings & Cooling from the Sun*. Janeiro de 2007. www.estif.org. Consulta em Fevereiro de 2008.
- [13] ESTIF - *Solar Thermal - Markets in Europe (Trends and Market Statistic 2006)*. Junho de 2007. www.estif.org. Consulta em Fevereiro de 2008.
- [14] ESTIF - *Best Practice Regulations for Solar Thermal*. Agosto de 2007. www.estif.org. Consulta em Fevereiro de 2008.
- [15] GreenPro - *Energia Solar Térmica - Manual sobre Tecnologias, Projecto e Instalação*, Janeiro de 2004. www.greenpro.de/po. Consulta em Junho de 2008.
- [16] INETI (Instituto Nacional de Engenharia e Tecnologia e Inovação, IP) - *Manual SolTerm - Análise de Desempenho de Sistemas Solares Térmicos e Fotovoltáicos*, Lisboa, Maio de 2007.
- [17] INETI - *Manual do Curso de Instalações Solares Térmicas*. Lisboa, Janeiro de 2007.
- [18] Instituto de Meteorologia, IP - *Caracterização Climática de Portugal*. 2006. www.meteo.pt. Consulta em Fevereiro de 2008.

- [19] ISQ (Instituto da Soldadura e Qualidade) - *Manual dos Projectistas de Sistemas de Energia Solar Térmica*. Lisboa, Janeiro de 2007.
- [20] Livro de Actas del XII Congresso Ibérico y Congreso Iberoamericano de Energia Solar - *Siguiendo el Camino de las Estrellas*. Vigo, Espanha. Setembro de 2004. ISBN 84-606-2260-X.
- [21] SHC (Solar Heating & Cooling Programme - International Energy Agency) - *National Program Report 2005 - Portugal*. Sydney, Austrália, December 2005. www.iea-shc.org. Consulta em Junho de 2008.
- [22] SHC - *Solar Heat Worldwide - Markets and Contribution to the Energy Supply 2006*. Gleisdorf, Austria. Maio de 2008. www.iea-shc.org. Consulta em Maio de 2008.
- [23] SPES (Sociedade Portuguesa de Energia Solar) - *Manual do Curso de Instaladores de Equipamentos Solares Térmicos - Conversão Térmica da Energia Solar*. Lisboa, 1996.

WEBGRAFIA

- [24] www.certif.pt. Consulta em Março de 2008.
- [25] www.certif.pt/keymark.asp. Consulta em Março de 2008.
- [26] www.dre.pt. Consulta em Junho de 2008.
- [27] www.edp.pt. Consulta em Maio de 2008.
- [28] www.estig.org/solarkeymark. Consulta em Fevereiro de 2008.
- [29] www.energias renováveis.com. Consulta em Abril de 2008.
- [30] www.gasolkol.at. Consulta em Março de 2008.
- [31] www.heliotek.com.br, Consulta em Maio de 2008
- [32] www.iambiente.pt/atlas/est/index.jsp. Consulta em Maio de 2008.
- [33] www.viessmann.com. Consulta em Março de 2008.
- [34] eur-lex.europa.eu. Consulta em Maio 2008.
- [35] re.jrc.europa.eu/pvgis. Consulta em Março de 2008.

LEGISLAÇÃO

Portaria n.º 198/2001, de 13 de Março.

Resolução do Conselho de Ministros n.º 154/2001, de 27 de Setembro.

Directiva n.º 2002/91/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 16 de Dezembro.

Resolução do Conselho de Ministros n.º 63/2003, de 28 de Abril.

Resolução do Conselho de Ministros n.º 119/2004, de 31 de Julho.

Decreto-Lei n.º 80/2006, de 4 de Abril - Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE).

Resolução do Conselho de Ministros n.º 80/2008, de 20 de Maio.

ANEXOS

A1

**ENERGIA INCIDENTE EM FUNÇÃO DA INCLINAÇÃO DO
COLECTOR - SOLUÇÃO A**

Inclinação de 22°

Orientação do colector: Inclinação 22° - Azimute 0° (Sul) - Obstruções do horizonte: 3° (por defeito)

Fracção Solar: 80,6 % - Produtividade: 431 kWh/m² de colector - E_{solar}: 1.741 kWh.

Meses	Fornecido kWh	Carga kWh	Apoio kWh
Janeiro	109	202	93
Fevereiro	125	177	52
Março	149	190	41
Abril	167	184	17
Maio	165	179	14
Junho	158	167	9
Julho	163	167	4
Agosto	165	167	2
Setembro	152	162	10
Outubro	153	179	26
Novembro	119	184	65
Dezembro	113	202	89
Anual	1.741	2.161	420

Inclinação de 26°

Orientação do colector: Inclinação 26° - Azimute 0° (Sul) - Obstruções do horizonte: 3° (por defeito)

Fracção Solar: 81,5 % - Produtividade: 436 kWh/m² de colector - E_{solar}: 1.761 kWh.

Meses	Fornecido kWh	Carga kWh	Apoio kWh
Janeiro	113	202	88
Fevereiro	129	177	48
Março	151	190	39
Abril	168	184	17
Maio	165	179	14
Junho	158	167	9
Julho	163	167	5
Agosto	165	167	2
Setembro	152	162	9
Outubro	155	179	24
Novembro	123	184	61
Dezembro	119	202	83
Anual	1.761	2.161	400

Inclinação de 36°

Orientação do colector: Inclinação 36° - Azimute 0° (Sul) - Obstruções do horizonte: 3° (por defeito)

Fracção Solar: 83,1 % - Produtividade: 444 kWh/m² de colector - E_{solar}: 1.795 kWh.

Meses	Fornecido kWh	Carga kWh	Apoio kWh
Janeiro	122	202	80
Fevereiro	136	177	41
Março	154	190	37
Abril	167	184	17
Maio	163	179	15
Junho	157	167	11
Julho	162	167	5
Agosto	165	167	2
Setembro	153	162	9
Outubro	158	179	21
Novembro	130	184	54
Dezembro	129	202	73
Anual	1.795	2.161	366

Inclinação de 56°

Orientação do colector: Inclinação 56° - Azimute 0° (Sul) - Obstruções do horizonte: 3° (por defeito)

Fracção Solar: 83,3 % - Produtividade: 446 kWh/m² de colector - E_{solar}: 1.800 kWh.

Meses	Fornecido kWh	Carga kWh	Apoio kWh
Janeiro	130	202	72
Fevereiro	140	177	37
Março	152	190	38
Abril	162	184	22
Maio	157	179	22
Junho	151	167	17
Julho	160	167	8
Agosto	163	167	4
Setembro	161	162	11
Outubro	159	179	20
Novembro	136	184	48
Dezembro	140	202	61
Anual	1.800	2.161	361

A2

**ENERGIA INCIDENTE EM FUNÇÃO DA INCLINAÇÃO DO
COLECTOR - SOLUÇÃO B**

Inclinação de 22°

Orientação do colector: Inclinação 22° - Azimute 0° (Sul) - Obstruções do horizonte: 3° (por defeito)

Fracção Solar: 82,7 % - Produtividade: 439 kWh/m² de colector - E_{solar}: 17.730 kWh.

Meses	Fornecido kWh	Carga kWh	Apoio kWh
Janeiro	1.099	1.961	862
Fevereiro	1.309	1.771	462
Março	1.549	1.903	355
Abril	1.670	1.786	116
Maio	1.685	1.788	103
Junho	1.606	1.674	68
Julho	1.641	1.673	31
Agosto	1.658	1.673	15
Setembro	1.550	1.619	68
Outubro	1.582	1.788	206
Novembro	1.238	1.842	604
Dezembro	1.144	1.961	817
Anual	17.730	21.438	3.708

Inclinação de 26°

Orientação do colector: Inclinação 26° - Azimute 0° (Sul) - Obstruções do horizonte: 3° (por defeito)

Fracção Solar: 83,7 % - Produtividade: 444 kWh/m² de colector - E_{solar}: 17.935 kWh.

Meses	Fornecido kWh	Carga kWh	Apoio kWh
Janeiro	1.142	1.961	819
Fevereiro	1.346	1.771	425
Março	1.565	1.903	338
Abril	1.671	1.786	115
Maio	1.682	1.788	106
Junho	1.603	1.674	71
Julho	1.640	1.673	33
Agosto	1.658	1.673	15
Setembro	1.552	1.619	66
Outubro	1.598	1.788	190
Novembro	1.276	1.842	566
Dezembro	1.200	1.961	761
Anual	17.935	21.438	3.503

Inclinação de 36°

Orientação do colector: Inclinação 36° - Azimute 0° (Sul) - Obstruções do horizonte: 3° (por defeito)

Fracção Solar: 85,3 % - Produtividade: 453 kWh/m² de colector - E_{solar}: 18.287 kWh.

Meses	Fornecido kWh	Carga kWh	Apoio kWh
Janeiro	1.227	1.961	734
Fevereiro	1.414	1.771	357
Março	1.589	1.903	314
Abril	1.667	1.786	119
Maio	1.669	1.788	119
Junho	1.593	1.674	81
Julho	1.635	1.673	38
Agosto	1.657	1.673	15
Setembro	1.553	1.619	66
Outubro	1.625	1.788	162
Novembro	1.345	1.842	496
Dezembro	1.312	1.961	648
Anual	18.287	21.438	3.151

Inclinação de 56°

Orientação do colector: Inclinação 56° - Azimute 0° (Sul) - Obstruções do horizonte: 3° (por defeito)

Fracção Solar: 85,7 % - Produtividade: 455 kWh/m² de colector - E_{solar}: 18.387 kWh.

Meses	Fornecido kWh	Carga kWh	Apoio kWh
Janeiro	1.308	1.961	653
Fevereiro	1.462	1.771	309
Março	1.575	1.903	329
Abril	1.621	1.786	165
Maio	1.606	1.788	182
Junho	1.539	1.674	135
Julho	1.613	1.673	60
Agosto	1.649	1.673	24
Setembro	1.534	1.619	85
Outubro	1.635	1.788	153
Novembro	1.408	1.842	434
Dezembro	1.430	1.961	531
Anual	18.380	21.438	3.058

A3

**EFEITO DA VARIAÇÃO DO CONSUMO DE ÁGUA QUENTE NA
ENERGIA SOLAR FORNECIDA, DO APOIO NECESSÁRIO E DA
FRACÇÃO SOLAR - SOLUÇÃO A**

20 l/hab.dia

Orientação do colector: Inclinação 36° - Azimute 0° (Sul) - Obstruções do horizonte: 3° (por defeito)

2 módulos de 2.02 m² - Depósito acumulador: 160 l

Fracção Solar: 93,7 % - Produtividade: 251 kWh/m² de colector - E_{solar}: 1.013 kWh.

Meses	Fornecido kWh	Carga kWh	Apoio kWh
Janeiro	79	101	22
Fevereiro	84	89	5
Março	90	95	6
Abril	91	92	1
Maio	88	89	1
Junho	83	84	1
Julho	83	84	0
Agosto	83	84	0
Setembro	80	81	0
Outubro	87	89	3
Novembro	81	92	12
Dezembro	84	101	17
Anual	1.013	1.080	68

30 l/hab.dia

Orientação do colector: Inclinação 36° - Azimute 0° (Sul) - Obstruções do horizonte: 3° (por defeito)

2 módulos de 2.02 m² - Depósito acumulador: 160 l

Fracção Solar: 88,5 % - Produtividade: 452 kWh/m² de colector - E_{solar}: 1.423 kWh.

Meses	Fornecido kWh	Carga kWh	Apoio kWh
Janeiro	100	147	47
Fevereiro	113	133	19
Março	125	143	18
Abril	128	134	6
Maio	128	134	6
Junho	121	126	4
Julho	123	125	2
Agosto	125	125	1
Setembro	118	121	3
Outubro	125	134	9
Novembro	108	138	30
Dezembro	108	147	39
Anual	1.423	1.608	185

40 l/hab.dia

Orientação do colector: Inclinação 36° - Azimute 0° (Sul) - Obstruções do horizonte: 3° (por defeito)

2 módulos de 2.02 m² - Depósito acumulador: 160 l

Fracção Solar: 83,1 % - Produtividade: 444 kWh/m² de colector - E_{solar}: 1.795 kWh.

Meses	Fornecido kWh	Carga kWh	Apoio kWh
Janeiro	122	202	80
Fevereiro	136	177	41
Março	154	190	37
Abril	167	184	17
Maio	163	179	15
Junho	157	167	11
Julho	162	167	5
Agosto	165	167	2
Setembro	153	162	9
Outubro	158	179	21
Novembro	130	184	54
Dezembro	129	202	73
Anual	1.795	2.161	366

50 l/hab.dia

Orientação do colector: Inclinação 36° - Azimute 0° (Sul) - Obstruções do horizonte: 3° (por defeito)

2 módulos de 2.02 m² - Depósito acumulador: 200 l

Fracção Solar: 79,0 % - Produtividade: 524 kWh/m² de colector - E_{solar}: 2.116 kWh.

Meses	Fornecido kWh	Carga kWh	Apoio kWh
Janeiro	133	245	112
Fevereiro	154	221	67
Março	179	238	59
Abril	195	223	28
Maio	197	223	26
Junho	191	209	18
Julho	201	209	8
Agosto	204	209	5
Setembro	185	202	17
Outubro	187	223	36
Novembro	149	230	81
Dezembro	141	245	104
Anual	2.116	2.680	564

60 l/hab.dia

Orientação do colector: Inclinação 36° - Azimute 0° (Sul) - Obstruções do horizonte: 3° (por defeito)

2 módulos de 2.02 m² - Depósito acumulador: 300 l

Fracção Solar: 74,6 % - Produtividade: 593 kWh/m² de colector - E_{solar}: 2.397 kWh.

Meses	Fornecido kWh	Carga kWh	Apoio kWh
Janeiro	145	294	149
Fevereiro	167	266	98
Março	199	285	86
Abril	223	268	45
Maio	226	268	42
Junho	223	251	28
Julho	238	251	13
Agosto	240	251	11
Setembro	213	243	30
Outubro	210	268	58
Novembro	162	276	115
Dezembro	151	297	143
Anual	2.397	3.216	818

A4

**EFEITO DA VARIAÇÃO DO CONSUMO DE ÁGUA QUENTE NA
ENERGIA SOLAR FORNECIDA, DO APOIO NECESSÁRIO E DA
FRACÇÃO SOLAR - SOLUÇÃO B**

20 l/hab.dia

Orientação do colector: Inclinação 36° - Azimute 0° (Sul) - Obstruções do horizonte: 3° (por defeito)

20 módulos de 2.02 m² - Reservatório de 800 l

Fracção Solar: 93,3 % - Produtividade: Demasiada energia solar desperdiçada - E_{solar}: 9.996 kWh.

Meses	Fornecido kWh	Carga kWh	Apoio kWh
Janeiro	781	980	200
Fevereiro	819	886	66
Março	885	952	66
Abril	871	893	22
Maio	875	894	19
Junho	821	837	16
Julho	831	836	5
Agosto	834	836	3
Setembro	803	809	7
Outubro	860	894	33
Novembro	803798	921	123
Dezembro	817	980	163
Anual	9.996	10.719	723

30 l/hab.dia

Orientação do colector: Inclinação 36° - Azimute 0° (Sul) - Obstruções do horizonte: 3° (por defeito)

20 módulos de 2.02 m² - Reservatório de 2 x 800 l

Fracção Solar: 90,8 % - Produtividade: 361 kWh/m² de colector - E_{solar}: 14.593 kWh.

Meses	Fornecido kWh	Carga kWh	Apoio kWh
Janeiro	1.047	1.471	424
Fevereiro	1.185	1.328	143
Março	1.289	1.427	138
Abril	1.304	1.340	35
Maio	1.304	1.341	37
Junho	1.229	1.256	26
Julho	1.244	1.254	10
Agosto	1.250	1.254	5
Setembro	1.197	1.214	17
Outubro	1.285	1.341	56
Novembro	1.127	1.381	255
Dezembro	1.132	1.471	339
Anual	14.593	16.078	1.485

40 l/hab.dia

Orientação do colector: Inclinação 36° - Azimute 0° (Sul) - Obstruções do horizonte: 3° (por defeito)

20 módulos de 2.02 m² - Reservatório de 2 x 800 l

Fracção Solar: 85,3 % - Produtividade: 453 kWh/m² de colector - E_{solar}: 18.287 kWh.

Meses	Fornecido kWh	Carga kWh	Apoio kWh
Janeiro	1.227	1.961	734
Fevereiro	1.414	1.771	357
Março	1.589	1.903	314
Abril	1.667	1.786	119
Maio	1.669	1.788	119
Junho	1.593	1.674	81
Julho	1.635	1.673	38
Agosto	1.657	1.673	15
Setembro	1.553	1.619	66
Outubro	1.625	1.788	162
Novembro	1.345	1.842	496
Dezembro	1.312	1.961	648
Anual	18.287	21.438	3.151

50 l/hab.dia

Orientação do colector: Inclinação 36° - Azimute 0° (Sul) - Obstruções do horizonte: 3° (por defeito)

20 módulos de 2.02 m² - Reservatório de 2 x 1.000 l

Fracção Solar: 87,6 % - Produtividade: 353 kWh/m² de colector - E_{solar}: 14.253 kWh.

Meses	Fornecido kWh	Carga kWh	Apoio kWh
Janeiro	1.052	1.580	529
Fevereiro	1.160	1.341	181
Março	1.167	1.391	224
Abril	1.303	1.345	42
Maio	1.368	1.439	71
Junho	1.164	1.194	30
Julho	1.252	1.284	32
Agosto	1.273	1.284	11
Setembro	1.114	1.155	41
Outubro	1.304	1.439	135
Novembro	1.026	1.384	358
Dezembro	1.071	1.435	364
Anual	14.523	16.272	2.018

60 l/hab.dia

Orientação do colector: Inclinação 36° - Azimute 0° (Sul) - Obstruções do horizonte: 3° (por defeito)

20 módulos de 2.02 m² - Reservatório de 3 x 800 l

Fracção Solar: 76,4 % - Produtividade: 608 kWh/m² de colector - E_{solar}: 24.576 kWh.

Meses	Fornecido kWh	Carga kWh	Apoio kWh
Janeiro	1.484	2.941	1.457
Fevereiro	1.733	2.657	923
Março	2.052	2.855	803
Abril	2.283	2.679	396
Maio	2.315	2.682	367
Junho	2.270	2.512	242
Julho	2.401	2.509	108
Agosto	2.435	2.509	73
Setembro	2.188	2.428	240
Outubro	2.176	2.682	505
Novembro	1.679	2.763	1.084
Dezembro	1.559	2.941	1.382
Anual	24.576	32.157	7.581

A5

**COMPARAÇÃO DA VARIAÇÃO DA ENERGIA FORNECIDA,
FRACÇÃO SOLAR E EFICIÊNCIA EM FUNÇÃO DA VARIAÇÃO DA
ÁREA DE CAPTAÇÃO - SOLUÇÃO A**

1 módulo de 2,02 m²

Orientação do colector: Inclinação 36° - Azimute 0° (Sul) - Obstruções do horizonte: 3° (por defeito)

40 l/hab.dia - Depósito acumulador: 160 l

Fracção Solar: 70,4 % - Produtividade: 753 kWh/m² de colector - E_{solar}: 1.522 kWh.

Meses	Fornecido kWh	Carga kWh	Apoio kWh
Janeiro	100	202	102
Fevereiro	107	177	70
Março	118	190	72
Abril	135	184	49
Maio	145	179	34
Junho	140	167	28
Julho	153	167	14
Agosto	155	167	12
Setembro	135	162	27
Outubro	128	179	51
Novembro	108	184	77
Dezembro	100	202	102
Anual	1.522	2.161	639

2 módulos de 2,02 m²

Orientação do colector: Inclinação 36° - Azimute 0° (Sul) - Obstruções do horizonte: 3° (por defeito)

40 l/hab.dia - Depósito acumulador: 160 l

Fracção Solar: 83,1 % - Produtividade: 444 kWh/m² de colector - E_{solar}: 1.795 kWh.

Meses	Fornecido kWh	Carga kWh	Apoio kWh
Janeiro	122	202	80
Fevereiro	136	177	41
Março	154	190	37
Abril	167	184	17
Maio	163	179	15
Junho	157	167	11
Julho	162	167	5
Agosto	165	167	2
Setembro	153	162	9
Outubro	158	179	21
Novembro	130	184	54
Dezembro	129	202	73
Anual	1.795	2.161	366

A6

**COMPARAÇÃO DA VARIAÇÃO DA ENERGIA FORNECIDA,
FRACÇÃO SOLAR E EFICIÊNCIA EM FUNÇÃO DA VARIAÇÃO DA
ÁREA DE CAPTAÇÃO - SOLUÇÃO B**

10 módulos de 2,02 m²

Orientação do colector: Inclinação 36° - Azimute 0° (Sul) - Obstruções do horizonte: 3° (por defeito)

40 l/hab.dia - Depósito acumulador: 2 x 800 l

Fracção Solar: 67,7 % - Produtividade: 719 kWh/m² de colector - E_{solar}: 14.518 kWh.

Meses	Fornecido kWh	Carga kWh	Apoio kWh
Janeiro	831	1.961	1.130
Fevereiro	962	1.771	809
Março	1.171	1.903	732
Abril	1.341	1.786	445
Maio	1.389	1.788	399
Junho	1.397	1.674	278
Julho	1.540	1.673	133
Agosto	1.528	1.673	144
Setembro	1.317	1.619	301
Outubro	1.250	1.788	538
Novembro	935	1.842	907
Dezembro	856	1.961	1.105
Anual	14.518	21.438	6.920

20 módulos de 2,02 m²

Orientação do colector: Inclinação 36° - Azimute 0° (Sul) - Obstruções do horizonte: 3° (por defeito)

40 l/hab.dia - Depósito acumulador: 2 x 800 l

Fracção Solar: 85,3 % - Produtividade: 453 kWh/m² de colector - E_{solar}: 18.287 kWh.

Meses	Fornecido kWh	Carga kWh	Apoio kWh
Janeiro	1.227	1.961	734
Fevereiro	1.414	1.771	357
Março	1.589	1.903	314
Abril	1.667	1.786	119
Maio	1.669	1.788	119
Junho	1.593	1.674	81
Julho	1.635	1.673	38
Agosto	1.657	1.673	15
Setembro	1.553	1.619	66
Outubro	1.625	1.788	162
Novembro	1.345	1.842	496
Dezembro	1.312	1.961	648
Anual	18.287	21.438	3.151

A7

**COMPARAÇÃO DA ÁREA DE CAPTAÇÃO E DO RENDIMENTO
FUNÇÃO DA VARIAÇÃO DO RENDIMENTO ÓPTICO E DAS
PERDAS DO COLECTOR SOLAR TÉRMICO**

Simulação efectuada para várias zonas de Portugal Continental e para diferentes consumos diários a uma temperatura de 45 °C, com base nas seguintes premissas [19]:

- inclinação dos colectores coincidente com a latitude local;
- para um consumo de 200 l/dia, utilização de um depósito de acumulação externo, do tipo termosifão, de 200 litros e um permutador de serpentina, com uma eficácia de 55 %, orientação N-S;
- para um consumo de 500, 1.000 e 1.500 litros/dia, o depósito de acumulação é interior e um permutador de serpentina, com uma eficácia de 55 %;
- para um consumo de 2.000 l/dia, o depósito de acumulação é interior e um permutador de placas, com uma eficácia de 70 %;
- o critério de dimensionamento a ser utilizado corresponde à não existência de excedentes energéticos nos meses de Verão, nomeadamente Julho, em que a fracção solar deverá situar-se perto dos 100%.

Os valores a considerar para o rendimento óptico do colector F' ($\tau\alpha$) e o coeficiente global de perdas $F' \times UL$ são os valores médios expressos no quadro 16.

Colector plano com cobertura não selectiva

Local	Consumo									
	200 l/dia		500 l/dia		1.000 l/dia		1.500 l/dia		2.000 l/dia	
	A (m ²)	FS (%)	A (m ²)	FS (%)	A (m ²)	FS (%)	A (m ²)	FS (%)	A (m ²)	FS (%)
Aveiro	4	82	8	71	18	77	28	79	36	80
Beja	4	81	8	73	16	71	22	68	28	68
Bragança	4	75	8	67	16	66	24	66	30	66
Coimbra	4	84	8	75	16	73	24	74	30	73
Elvas	4	81	8	73	16	72	22	69	28	69
Évora	4	80	8	72	16	71	22	68	28	68
Faro	4	90	8	82	14	74	20	73	26	74
Lisboa	4	85	8	77	16	76	22	72	28	73
Porto	4	81	8	72	18	76	26	75	32	74
Santarém	4	81	8	73	16	76	22	69	28	69
Vila Real	4	75	8	67	16	65	24	66	30	66
Viseu	4	77	8	68	18	72	26	71	34	72

Obs. A - área da superfície colectora e FS - fracção solar.

Colector plano com cobertura selectiva

Local	Consumo									
	200 l/dia		500 l/dia		1.000 l/dia		1.500 l/dia		2.000 l/dia	
	A (m ²)	FS (%)	A (m ²)	FS (%)	A (m ²)	FS (%)	A (m ²)	FS (%)	A (m ²)	FS (%)
Aveiro	4	89	8	82	16	84	22	76	30	80
Beja	4	87	8	81	14	76	18	67	24	69
Bragança	4	81	8	75	16	76	20	67	26	67
Coimbra	4	89	8	84	14	76	20	75	26	75
Elvas	4	87	8	81	12	68	18	69	22	67
Évora	4	87	8	81	12	66	18	67	24	69
Faro	2	68	6	78	12	76	16	71	22	75
Lisboa	4	91	6	74	12	71	18	72	24	74
Porto	4	88	8	82	14	74	22	77	28	76
Santarém	4	87	8	81	12	68	18	69	24	70
Vila Real	4	81	8	75	14	68	20	67	26	67
Viseu	4	84	8	77	16	76	22	73	28	72

Obs. A - área da superfície colectora e FS - fracção solar.

Colector concentrador com cobertura (CPC)

Local	Consumo									
	200 l/dia		500 l/dia		1.000 l/dia		1.500 l/dia		2.000 l/dia	
	A (m ²)	FS (%)	A (m ²)	FS (%)	A (m ²)	FS (%)	A (m ²)	FS (%)	A (m ²)	FS (%)
Aveiro	4	78	6	73	12	75	18	76	24	77
Beja	2	58	6	74	10	67	16	71	20	69
Bragança	4	82	6	69	12	70	18	70	20	64
Coimbra	2	59	6	77	10	68	16	73	20	71
Elvas	2	60	6	75	10	68	16	72	20	70
Évora	2	58	6	74	10	67	16	70	20	69
Faro	2	67	6	84	10	77	14	74	18	73
Lisboa	2	62	6	79	10	72	14	69	18	68
Porto	4	89	6	74	12	76	16	70	22	73
Santarém	2	59	6	75	10	68	14	65	20	70
Vila Real	4	82	6	69	12	70	16	65	22	68
Viseu	4	85	6	70	12	71	16	66	22	69

Obs. A - área da superfície colectora e FS - fracção solar.

A8

**PERÍODO DE RETORNO DO INVESTIMENTO DE SISTEMA SOLAR
TÉRMICO EM COMPARAÇÃO COM OS SISTEMAS
CONVENCIONAIS SERVIDOS POR COMBUSTÍVEIS FÓSSEIS -
SOLUÇÃO A**

Considerou-se uma temperatura de entrada da água de 15 °C.

De referir que o gás propano e butano pertencem à família de classificação (índice de Wobbe) - gases de petróleo liquefeito (GPL) e o gás natural à 2.ª família - gases naturais.

Gás propano

Densidade do gás (15 °C e 1.013 bar): 1,5

Poder calorífico inferior: 11 070 kcal/kg (12,87 kWh/kg)

Rendimento médio esquentador: 60 %

Rendimento médio caldeira mural: 85 %

Preço médio por garrafa de 45 kg: 81,00 € (valores de Maio de 2008 - BP)

Consumo anual

Esquentador: 263,78 kg

Caldeira: 186,19 kg

Custo anual:

Esquentador: 474,80 €

Caldeira: 335,15 €

Gás butano

Densidade do gás (15 °C e 1.013 bar): 2,0

Poder calorífico inferior: 10 900 kcal/kg (12,68 kWh/kg)

Rendimento médio esquentador: 60 %

Rendimento médio caldeira mural: 85 %

Preço médio por garrafa de 13 kg: 21,00 € (valores de Maio de 2008 - BP)

Consumo anual

Esquentador: 267,89 kg

Caldeira: 189,10 kg

Custo anual:

Esquentador: 432,75 €

Caldeira: 305,47 €

Gás natural

Densidade do gás (15 °C e 1.013 bar): 0,65

Poder calorífico inferior: 9 054 kcal/m³ (10,53 kWh/m³)

Rendimento médio esquentador: 60 %

Rendimento médio caldeira mural: 85 %

Preço médio por m³ (Cozinha + água quente sanitária): 0,6632 € + 4,60 € (parte fixa mensal) (valores de Maio de 2008 - EDP Gás)

Consumo anual

Esquentador: 322,51 m³

Caldeira: 227,65 m³

Custo anual:

Esquentador: 269,09 €

Caldeira: 206,18 €

Electricidade

Rendimento médio termoacumulador: 95 %

Preço de potência contratada (3,45 kVA - baixa tensão): 5,74 € (tarifa simples) e 8,32 € (tarifa bi-horária)
(valores de Maio de 2008 - EDP)

Preço de energia: 0,1143 €/kWh (tarifa simples) e 0,0614 € (horas vazias em tarifa bi-horária)

Consumo anual: 2.144,82 kWh

Custo anual:

Tarifa simples: 314,03 €

Tarifa bi-horária: 259,90 € (25 % em horas cheias e 75 % em horas vazias)

Obs. Nesta situação a tarifa bi-horária fica mais económica que uma potência contratada de 2,30 kVA em tarifa simples. Apesar de considerada subjectiva a inclusão do custo da potência contratada, dado a sua pré-existência independentemente da existência de aquecimento de água mediante termoacumulador ou não)

Sistema solar térmico

Custo sistema: 3.000 € (4,0 m² de colectador + depósito acumulador)

Benefício fiscal: + 700,00 €

Fornecido: 1.795 kWh

Carga: 2.161 kWh

Apoio: 366 kWh

Fracção solar: 83,1 %

Sistema de apoio do tipo convencional: Caldeira a gás natural

Termoacumulador eléctrico (tarifa bi-horária - 25 % em horas cheias e 75 % em horas vazias)

Custo anual:

Caldeira: 27,12 €

Termoacumulador: 27,31 €

Obs. Não são incluídos os custos fixos com taxas de ligação e potência.

Período útil do sistema de 15 anos.

A9

**PERÍODO DE RETORNO DO INVESTIMENTO DE SISTEMA SOLAR
TÉRMICO EM COMPARAÇÃO COM OS SISTEMAS
CONVENCIONAIS SERVIDOS POR COMBUSTÍVEIS FÓSSEIS -
SOLUÇÃO B**

Considerou-se uma temperatura de entrada da água de 15 °C.

De referir que o gás propano e butano pertencem à família de classificação (índice de Wobbe) - gases de petróleo liquefeito (GPL) e o gás natural à 2.ª família - gases naturais.

Gás propano

Densidade do gás (15 °C e 1.013 bar): 1,5

Poder calorífico inferior: 11 070 kcal/kg (12,87 kWh/kg)

Rendimento médio esquentador: 60 %

Rendimento médio caldeira mural: 85 %

Preço médio por garrafa de 45 kg: 81,00 € (valores de Maio de 2008 - BP)

Consumo anual

Esquentador: 2.637,76 kg

Caldeira: 1.861,95 kg

Custo anual:

Esquentador: 4.747,97 €

Caldeira: 3.351,51 €

Gás butano

Densidade do gás (15 °C e 1.013 bar): 2,0

Poder calorífico inferior: 10 900 kcal/kg (12,68 kWh/kg)

Rendimento médio esquentador: 60 %

Rendimento médio caldeira mural: 85 %

Preço médio por garrafa de 13 kg: 21,00 € (valores de Maio de 2008 - BP)

Consumo anual

Esquentador: 2.678,90 kg

Caldeira: 1.890,99 kg

Custo anual:

Esquentador: 4.327,45 €

Caldeira: 3.054,67 €

Gás natural

Densidade do gás (15 °C e 1.013 bar): 0,65

Poder calorífico inferior: 9 054 kcal/m³ (10,53 kWh/m³)

Rendimento médio esquentador: 60 %

Rendimento médio caldeira mural: 85 %

Preço médio por m³ (Cozinha + água quente sanitária): 0,6632 € + 4,60 € (parte fixa mensal) (valores de Maio de 2008 - EDP Gás)

Consumo anual

Esquentador: 3.225,09 m³

Caldeira: 2.276,54 m³

Custo anual:

Esquentador: 2.194,08 €

Caldeira: 1.565,00 €

Electricidade

Rendimento médio termoacumulador: 95 %

Preço de potência contratada (3,45 kVA - baixa tensão): 5,74 € (tarifa simples) e 8,32 € (tarifa bi-horária)
(valores de Maio de 2008 - EDP)

Preço de energia: 0,1143 €/kWh (tarifa simples) e 0,0614 € (horas vazias em tarifa bi-horária)

Consumo anual: 21.448,17 kWh

Custo anual:

Tarifa simples: 2.520,41 €

Tarifa bi-horária: 1.700,41 € (25 % em horas cheias e 75 % em horas vazias)

Obs. Nesta situação a tarifa bi-horária fica mais económica que uma potência contratada de 2,30 kVA em tarifa simples. Apesar de considerada subjectiva a inclusão do custo da potência contratada, dado a sua pré-existência independentemente da existência de aquecimento de água mediante termoacumulador ou não)

Sistema solar térmico

Custo sistema: 2.200 € (4,0 m² de colector + depósito acumulador)

Benefício fiscal: + 700,00 €

Fornecido: 18.287 kWh

Carga: 21.438 kWh

Apoio: 3.151 kWh

Fracção solar: 85,3 %

Sistema de apoio do tipo convencional: Caldeira a gás natural

Termoacumulador eléctrico (tarifa bi-horária - 25 % em horas cheias e 75 % em horas vazias)

Custo anual:

Caldeira: 233,48 €

Termoacumulador: 235,14 €

Obs. Não são incluídos os custos fixos com taxas de ligação e potência.

Período útil do sistema de 15 anos.